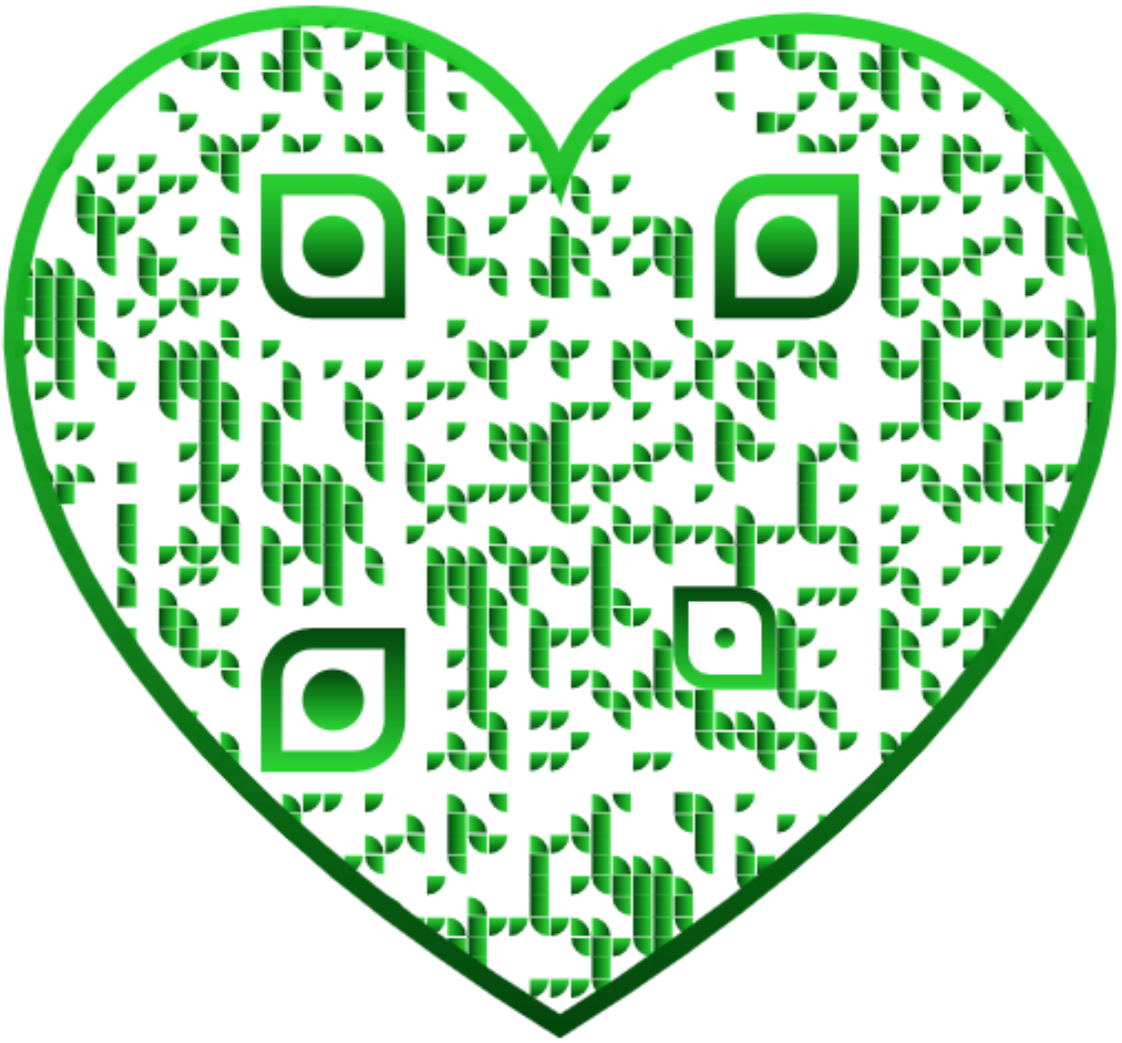
Fraîcheur sans clim'

> Le guide des alternatives écologiques

Thierry Salomon
et Claude Aubert

terre vivante
L'ÉCOLOGIE PRATIQUE

SHOUT
SHARE
IT



Fraîcheur sans clim'

> Le guide des alternatives écologiques

Thierry Salomon
et Claude Aubert

Préface d'Yves Cochet
député de Paris,
ancien ministre de l'Aménagement
du Territoire et de l'Environnement

Depuis 1979, **Terre vivante** vous fait partager ses d'expériences en matiè re d'écologie pratique : jardinage biologique, alimentation et santé, habitat écologique, énergie.
A travers :
- l'édition de livres pratiques,
- le magazine *Les quatre Saisons du jardin bio,*
- un Centre de découverte de l'écologie pratique à visiter de mai à octobre, dans les Alpes, au pied du Vercors.

Le catalogue des ouvrages publiés par **Terre vivante** est disponible sur simple demande.

Terre vivante, domaine de Raud, 38710 Mens.
Tél : 04 76 34 80 80. Fax : 04 76 34 84 02. Email : info@terrevivante.org
www.terrevivante.org

terre vivante
L'ÉCOLOGIE PRATIQUE

Coordination éditoriale : Pierre Bertrand
Conception graphique et réalisation : Claude Steenhoute
Illustrations, maquette de couverture : Claude Steenhoute

Crédits photographiques :
Couverture : en haut : doc. Minergie, ventilateur : doc. Solis, brume : Joseph Dufour,
p. 16 : C. Aubert, p. 18 : Luis Iturra, p. 27: Jean-Pierre Oliva, p. 30 : Michela Giacon, p. 33 : doc. Ecosedum,
p. 41 : royaltee-free/Corbis, p. 56 : panneaux de cellulose : doc. Homatherm/
rouleaux de chanvre : doc.LCDA/panneaux de roseaux : doc.Hasit/panneaux de laine de lin :
doc.Textinap, p. 64 : Samuel Courgey, p. 67 : Antoine Bosse-Platière, p. 70 : Anne Aubert,
p.71 : Jacques Julien, p. 76 : Claude Aubert, p. 77 : Claude Aubert, p. 79 : doc. Solis, p. 85 : royaltee-
free/Corbis, p. 86 : Thierry Salomon, p. 88 : Claude Aubert, p. 101 : doc. Karo, p. 119 : Claude Aubert,
p. 120 : doc. Oxycom, p. 127 : H. Armstrong Roberts /Corbis, p. 133 : Bernard Desjeux.

© terre vivante, Mens, France, 2004, 2007
ISBN : 978-2-914717-09-0
Tous droits de reproduction et d'adaptation en langue française strictement réservés pour tous pays.

Le catalogue des ouvrages publiés par **Terre vivante** est disponible sur simple demande chez l'éditeur :
Terre vivante
38710 Mens
tél : 04 76 34 80 80

SOMMAIRE

Préface 9

Introduction 11

1. Retour sur la canicule 13
2003, été meurtrier 13
Canicule et pollution, un redoutable cocktail 14
La faute à qui ? 15
Une architecture de surchauffe 16
Un urbanisme de surchauffe 17
La clim', solution à problèmes 18

2. La chaleur, nos maisons et nous 19
Notre corps et la chaleur 19
Les règles d'or du confort thermique 20
Une enquête révélatrice 22
Comment le corps lutte contre la chaleur 24
Comment nos maisons se réchauffent 25

3. Protéger nos maisons du soleil 27
Une architecture adaptée au climat 27
L'environnement végétal de la maison 28
Murs végétaux et pergolas 30
Les toitures végétales 33
Utiliser des matériaux et des couleurs réfléchissants 34
Vitrages et rayonnement solaire 35
Les protections architecturales fixes 37

4. Protéger les fenêtres du soleil 39
Les protections solaires de fenêtres 39
Le choix des fenêtres 39
Volets, persiennes et jalousies 41
Les stores extérieurs 42
Stores intérieurs et films solaires 44
Comment choisir la bonne protection 46
Protection solaire et réglementation thermique 48

5. Empêcher la chaleur d'entrer 49
Isolation et chaleur estivale 49
Niveau d'isolation et température intérieure 50
Empêcher l'air chaud d'entrer 52
Isoler la toiture 52
Isoler un grenier et des combles inoccupés 53
Isoler les murs 54
Isoler le sol 55
Les isolants écologiques 55

6. Le rôle de l'inertie 57
Inertie thermique et confort d'été 57
L'inertie de différents matériaux de construction 59
Voyage au cœur d'une paroi 60
Inertie et isolation 62
Quelques règles simples pour utiliser l'inertie 64

7. Les apports de chaleur internes 65
Tout finit en chaleur 65
L'éclairage produit de la chaleur 66
Nos appareils, sources de chaleur méconnues 67
Bureautique et canicule 68

8. Aider le corps à lutter contre la chaleur 69
Transpirer, notre premier moyen de lutte contre la chaleur 69
Choisir les bons vêtements 70
Aménager et meubler sa maison en vue de la canicule 71
Réhydrater et nourrir le corps 73
Coups de chaleur : lorsque le corps n'en peut plus 74

9. Rafraîchir en ventilant 75
Au frais en ventilant 75
À quel moment faut-il ouvrir les fenêtres en été ? 76
Favoriser la ventilation naturelle 77
Brasser l'air : de l'éventail au ventilateur de plafond 78
La surventilation nocturne 80
Le puits provençal 81

10. Rafraîchir par évaporation 83
Rafraîchir avec de la vapeur d'eau, un paradoxe ? 83
Rafraîchir en humidifiant 85
Les brumisateurs 86
Les rafraîchisseurs par évaporation 87
Les fontaines à ruissellement 89
Trucs et astuces évaporatifs 90

11. Produire du froid avec une machine frigorifique 91
Principes, techniques et appareils 91
Les pompes à chaleur réversibles 93
Les machines à absorption 94
Rendement et consommation d'énergie 95
Pompes à chaleur (PAC) et énergies non renouvelables 96
Les fluides réfrigérants et l'environnement 98
Rafraîchir en soufflant de l'air frais 99
Les parois rafraîchissantes 101

12. Le climatiseur, solution miracle ? 103
Les climatiseurs domestiques 103
Un climatiseur, comment cela marche ? 104
Les performances des climatiseurs 106
Climatisation et santé 107
Le vrai coût de la clim' 108
La clim', conseils d'utilisation 109

13. La clim' en voiture 111
La clim' en voiture, un équipement banal ? 111
Une forte consommation de carburant 113
Un accroissement des émissions polluantes 114
Des fluides à effet de serre très volatils 115
Clim' et qualité de l'air des véhicules 116
Le vrai coût de la clim' automobile 117
L'entretien d'une clim' de voiture 118
Quelles alternatives à la clim' en voiture ? 119

14. Demain, la clim' plus écologique ? 121
Le puits provençal banalisé ? 121
Le rafraîchissement par évaporation indirecte 121
La clim' domestique à absorption 122
Les avancées de la clim' solaire 123
Le gaz carbonique contre l'effet de serre ? 125

15. Climatisation, impacts sur l'énergie et l'environnement 127
La clim' banalisée 127
La clim' subventionnée, une aberration 128
Deux pays, deux politiques 129
Une clim', dix impacts sur l'environnement ! 130
La climatisation, une demande accrue en énergie 131
Le réseau électrique fragilisé 133
Quand la fraîcheur accroît l'effet de serre 134
Un impact persistant sur la couche d'ozone 134
Les canicules de demain 135
Vivre avec le climat, et non contre lui ! 136

Il fait trop chaud chez vous... que faire ? 137

Des livres, des sites pour en savoir plus 142

Adresses utiles 146

Petit lexique du rafraîchissement 152

Index 155

Sources scientifiques 159

N.B. : Les nombres entre crochets [ ] dans le texte renvoient aux sources scientifiques, p. 159.

Préface

Pendant et après la canicule de l'été 2003, le débat polémique s'est concentré sur l'organisation du système de santé et sur les responsabilités de chacun dans la veille des personnes âgées. Peu de médias se soucièrent de l'origine de cette vague de chaleur, très vraisemblablement liée au changement climatique mondial provoqué par les excessives émissions de gaz à effet de serre de notre mode de vie industrialisé.

Depuis cet été meurtrier, les autorités et les habitants cherchent à éviter la reproduction d'une telle mortalité en se précipitant sur ce qui semble LA solution de protection contre des températures extrêmes : la climatisation. Que ce soit à l'intérieur des habitats ou dans un véhicule, la clim' apparaît désormais à tous comme le moyen le plus efficace de se prémunir contre les aléas climatiques.

Si cette technologie peut être indiquée ici ou là pour certaines applications ponctuelles, sa généralisation à l'ensemble du parc automobile ainsi qu'à une part croissante de l'habitat résidentiel et des bâtiments tertiaires posera beaucoup plus de problèmes qu'elle n'en résoudra. Les auteurs de ce livre, qui sont hommes de grande expérience en ce domaine, montrent bien les effets pervers d'une telle généralisation de la clim'.

En effet, l'énergie (électricité et/ou pétrole) consommée par les climatiseurs et les fuites de fluide réfrigérant de ces appareils participent à la croissance de l'effet de serre qui réchauffe le climat de la Terre, ce qui suscite une demande croissante en climatiseurs... Spirale infernale de l'escalade technologique qui permettra peut-être à quelques-uns d'améliorer leur vie actuelle, mais au prix du malheur certain de leurs enfants et petits enfants.

Les auteurs refusent cette fatalité technologique et indiquent très concrètement comment nous et nos enfants pouvons vivre mieux en gaspillant moins. Un livre dont certains passages font froid dans le dos, mais dont le message global réchauffe le cœur.

Yves Cochet
député de Paris,
ancien ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

Introduction

"Dans dix ans, tout le monde aura la clim'. Pourquoi pas vous ?".

C'est ce qu'on pouvait lire il y a quelques années au bas des factures EDF des abonnés de la région de Montpellier. Aujourd'hui, on nous promet, grâce à la climatisation réversible, "une température idéale toute l'année".
Un discours évidemment intéressé, et particulièrement convaincant après la dramatique canicule d'août 2003.

Est-ce la bonne solution ? Incontestablement, elle est conforme à la manière de faire habituelle de nos sociétés "développées" : lorsqu'un problème apparaît, au lieu de s'attaquer aux causes, on met en œuvre une solution technologique, sans se soucier de ses conséquences. On l'a vu en médecine, où la multiplication des médicaments a pris le pas sur la prévention, et aujourd'hui dans l'habitat, où la climatisation évite de se poser des questions sur nos modes de construction et nos habitudes de vie. Si tout cela profite au sacro-saint PIB, pourquoi s'en priverait-on ?

Pourtant, chacun sait que la généralisation de la clim' n'est pas la bonne solution, car elle est gaspilleuse d'énergie, polluante et coûteuse. Ce que l'on sait moins, c'est qu'il existe des alternatives qui permettent, dans de très nombreuses situations, d'éviter le recours au climatiseur. L'objectif de ce livre est d'en faire l'inventaire, d'évaluer leur efficacité et de montrer de quelle manière et dans quels contextes elles peuvent être mises en œuvre.

Après un retour sur le désastre sanitaire de l'été 2003, les premiers chapitres sont consacrés aux différents processus de réchauffement de nos maisons et aux moyens de le prévenir, qu'il s'agisse de la conception architecturale, de l'environnement végétal, des protections solaires, de l'inertie, de l'isolation ou de la limitation des apports internes de chaleur via nos équipements électroménagers.

Les chapitres suivants abordent les différents moyens naturels de rafraîchir le corps et l'air intérieur lorsque, faute d'avoir pu mettre en œuvre des techniques préventives, la chaleur devient excessive. Ventilation et évaporation sont les deux moyens principaux et leur efficacité, connue depuis longtemps, est mise en évidence.

L'ouvrage aborde ensuite les techniques de climatisation classique, avec leurs différentes variantes et leurs inconvénients, sans oublier un chapitre entier consacré à la climatisation automobile et à ses impacts négatifs.

Puis les auteurs font le point sur les nouvelles technologies qui, lorsque la climatisation s'avère nécessaire, font appel aux énergies renouvelables et évitent l'utilisation de fluides frigorigènes contribuant à l'effet de serre. Enfin, pour conclure, un inquiétant bilan expose les effets prévisibles d'une généralisation de la climatisation,

En fin d'ouvrage, de nombreuses adresses de sources d'information et de fournisseurs, ainsi qu'une abondante bibliographie, permettent au lecteur de compléter son information et de se procurer les matériels décrits dans le livre.

1 Retour sur la canicule

2003, été meurtrier

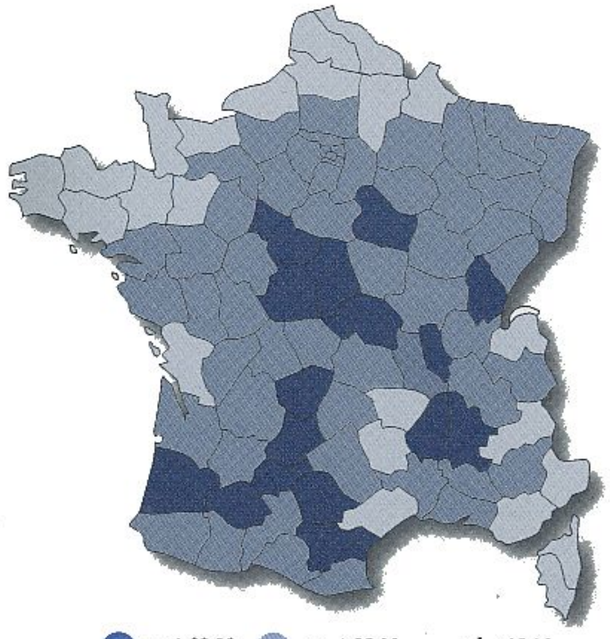
L'été 2003 a battu tous les records de chaleur.

Dans bien des villes, les températures ont atteint, dans la deuxième semaine d'août, des sommets jamais vus : le 12 août, 44,1 °C dans le Gard, plus de 43 °C dans 12 départements. Plus exceptionnel encore, les températures se sont maintenues à un niveau extrêmement élevé pendant une semaine entière, entre le 6 et le 13 août. On a relevé, par exemple, dans plusieurs départements, des maxima supérieurs à 40 °C pendant toute cette semaine. À Paris, les 5 journées les plus chaudes depuis le début des enregistrements en 1873 se situent toutes en août 2003. Même la nuit, dans les grandes villes, les températures sont restées à des niveaux anormalement élevés : les 11 et 12 août, avec 25,5 °C de température minimale, Paris a connu les deux nuits les plus chaudes de son histoire. Quant à la température moyenne de l'été 2003, elle a été supérieure de 4 °C à celle des 100 dernières années, et de 2 °C à celle de la précédente année caniculaire, en 1947.

Toute la première quinzaine d'août, période la plus critique, les maisons et les appartements se sont réchauffés chaque jour un peu plus, jusqu'à arriver à des niveaux extraordinairement élevés, souvent insupportables : dans certains logements, on a mesuré dans la journée 40 °C, soit 7,5 °C de plus que la température normale de notre peau !

Difficiles à supporter par des personnes en bonne santé, de telles températures peuvent se révéler mortelles pour les plus fragiles.

Les conséquences, chacun les connaît : 15 000 morts dans notre pays – beaucoup plus que partout ailleurs –, un extrême inconfort pour des millions de personnes, et un nombre, non comptabilisé mais sans doute important, de pathologies respiratoires aggravées par l'augmentation de la pollution de l'air, et notamment de la teneur en ozone.



La canicule a touché une grande majorité du territoire, avec une moyenne des températures maximales supérieure à 39 °C dans 14 départements pendant 8 jours consécutifs.

Canicule et pollution, un redoutable cocktail

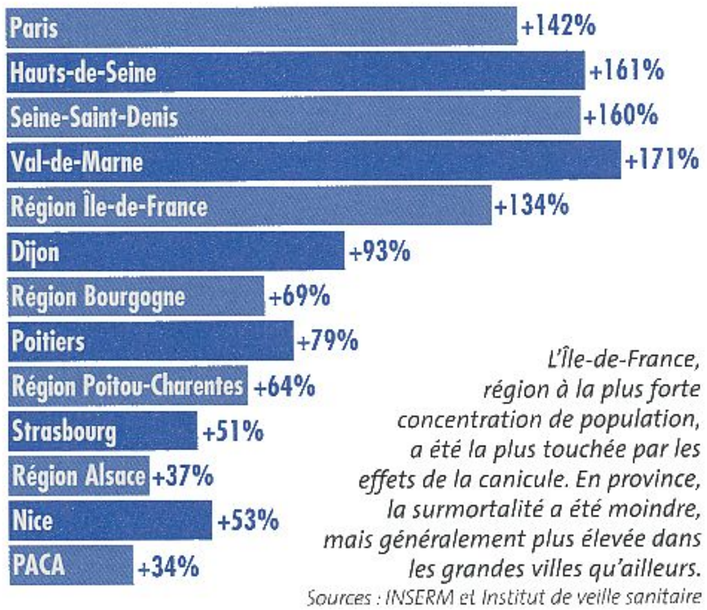
Les pics de pollution à l'ozone interviennent toujours lorsque la température est élevée. L'organisme est alors doublement agressé : par la chaleur elle-même, et par une teneur de l'air en ozone anormalement élevée.

Mais ce n'est pas tout. De nombreuses mesures et analyses ont mis en évidence de manière incontestable ces dernières années deux faits inquiétants sur la qualité de l'air que nous respirons dans nos bâtiments :

> l'air intérieur est presque toujours plus pollué que l'air extérieur. On y trouve en effet tous les polluants de ce dernier, souvent à des concentrations supérieures à celles rencontrées dehors, mais aussi un grand nombre de polluants spécifiques : substances chimiques (formaldéhyde, solvants, pesticides) et polluants biologiques (moisissures, acariens, bactéries) ;

> la concentration de polluants dans l'air intérieur augmente avec la température. La chaleur favorise en effet non seulement la multiplication des acariens, des bactéries et des moisissures, mais aussi l'émission des substances chimiques contenues dans les matériaux de construction, dans les produits de traitement du bois, dans les peintures et dans les très nombreux produits d'entretien et de bricolage que nous utilisons quotidiennement. Par exemple, les émissions de formaldéhyde (polluant chimique omniprésent dans l'air intérieur) sont multipliées par 2 lorsque la température augmente de 5 °C. Or, à partir d'une certaine concentration, ce polluant provoque d'importantes difficultés respiratoires.

Surmortalité due à la canicule, en août 2003 dans quelques villes, départements et régions.



L'Île-de-France, région à la plus forte concentration de population, a été la plus touchée par les effets de la canicule. En province, la surmortalité a été moindre, mais généralement plus élevée dans les grandes villes qu'ailleurs.

Sources : INSERM et Institut de veille sanitaire

Il n'existe aucune statistique fiable permettant de dire dans quelle mesure la pollution a contribué à l'hécatombe de la canicule de 2003, mais elle a certainement joué un rôle important, comme le laisse penser le cas de la ville d'Athènes. En 1987, une très forte canicule y avait provoqué 2 000 décès supplémentaires. L'année suivante, à l'arrivée d'une nouvelle canicule, les autorités ont pris des mesures drastiques de réduction de la circulation automobile et de l'activité industrielle : le nombre de décès attribuables à la canicule a été ramené à 20.

La faute à qui ?

La faute à la canicule ?

Les conditions climatiques tout à fait exceptionnelles sont évidemment à l'origine des températures anormalement élevées constatées dans nos maisons pendant l'été 2003. Pourtant les conséquences n'ont pas été aussi graves, loin s'en faut, partout où il a fait très chaud. Et tout le monde s'est étonné que la canicule ait été beaucoup moins meurtrière à l'étranger que chez nous, bien qu'elle ait touché toute l'Europe. En Italie, en Espagne ou en Grèce, où il a fait au moins aussi chaud que chez nous, la surmortalité due à la canicule a été très faible. Le climat n'est donc pas seul en cause.

La faute au manque d'information ?

Tout a été dit sur le manque d'anticipation lors de la canicule d'août 2003. Personne, en effet, n'avait rien vu venir. Certains affirment que, anticipation ou pas, cela n'aurait pas changé grand-chose. Cependant, des équipements peu coûteux et quelques gestes simples, dont beaucoup ignoraient l'efficacité, voire l'existence, auraient permis de mieux supporter la chaleur et sans doute d'éviter un certain nombre de décès. Par exemple la pose de simples écrans, ou le rafraîchissement par évaporation. Ou encore le simple fait de fermer fenêtres et volets dans la journée et au contraire de ventiler au maximum la nuit – naturellement ou mécaniquement – afin de faciliter la pénétration de l'air extérieur, relativement frais, et l'évacuation de l'air chaud. Quelques gestes parmi d'autres, qui auraient permis d'abaisser de plusieurs degrés la température dans les logements. Une large information sur ces solutions aurait été précieuse. Sans oublier, bien entendu, des conseils sur l'adaptation de nos comportements aux fortes chaleurs : boire abondamment, faciliter la transpiration par des vêtements adaptés et la création de courants d'air, etc.

La faute au manque de climatiseurs ?

Certains ont fait remarquer que, aux États-Unis, des vagues de chaleur analogues ne posent aucun problème, pour une raison très simple : la climatisation y est généralisée. Mais l'absence de climatisation n'explique pas tout : les pays méditerranéens ne sont, dans l'ensemble, pas beaucoup mieux équipés que nous.

En réalité, la cause de la surchauffe excessive de nos bâtiments se trouve avant tout dans nos bâtiments eux-mêmes et leur environnement : nous avons développé une architecture et un urbanisme de surchauffe.

Une architecture de surchauffe

De nombreux bâtiments modernes ont été construits sans aucune protection solaire : la climatisation devient dès lors indispensable.

Si les températures que nous avons connues en France l'été 2003 ont été exceptionnelles, elles ne le sont pas dans de nombreux autres pays. Et quiconque a séjourné en été dans les pays à climat chaud et sec a constaté que, quelle que soit la température extérieure, on souffre assez peu des fortes températures dans l'habitat traditionnel. Sa conception intègre en effet la protection contre la chaleur : des murs épais, généralement en pierre ou en terre, des ouvertures le plus souvent pourvues de protections solaires, parfois d'ingénieux systèmes de rafraîchissement naturel.

Au contraire, dans nos immeubles ou maisons modernes en béton ou en parpaing, la chaleur est souvent devenue insupportable. Larges baies vitrées souvent très mal orientées et sans protection solaire, murs peu épais, ventilation nocturne insuffisante, tout concourt à faire de ces maisons de véritables fournaises dès qu'il fait chaud.

Est-ce à dire que, à moins d'habiter une maison en pierre aux murs de 60 cm, nous sommes condamnés à souffrir ou à nous équiper de climatiseurs ? Il n'en est rien car, comme nous le verrons dans la suite de ce livre, on sait construire, avec les matériaux modernes, des maisons qui restent fraîches en été sans climatisation. Mais encore faut-il rompre avec une architecture qui a oublié qu'un bâtiment peut, par sa conception, naturellement et simplement, se protéger du soleil et de la chaleur.

Un urbanisme de surchauffe

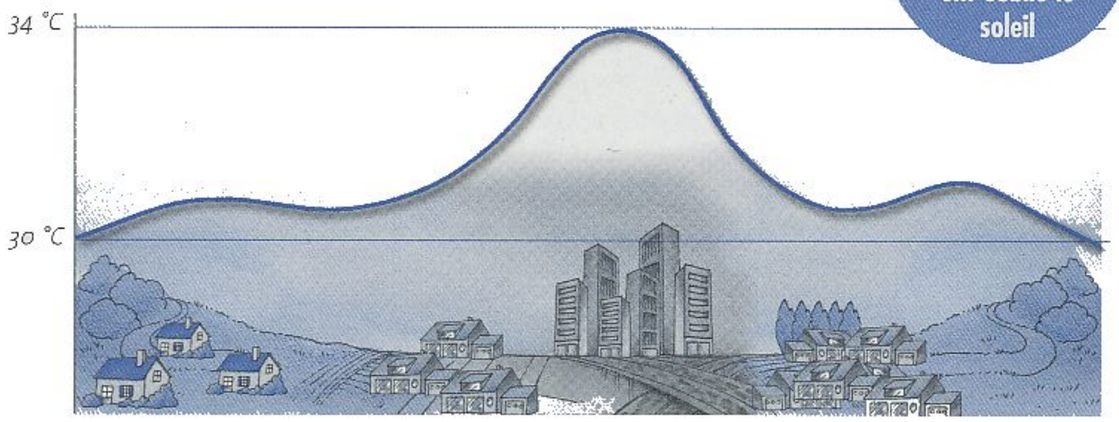
Dans les pays chauds, l'urbanisme est résolument tourné vers la protection solaire, avec des rues non seulement étroites, mais parfois, comme dans les médinas d'Afrique du Nord, entièrement couvertes ou bordées d'arcades protégeant du soleil les promeneurs et les habitants des étages inférieurs.

À l'inverse, l'urbanisme très minéral de nos villes contemporaines, avec ses larges avenues, ses grandes baies vitrées, ses rues asphaltées et une maigre végétation, accumule la chaleur tout au long de la journée. Dans les grandes villes, la température est donc supérieure de plusieurs degrés à celle de la campagne environnante.

L'activité renforce encore la chaleur ambiante : ainsi les groupes de climatisation rejettent dans l'air extérieur la chaleur extraite des habitations ou des logements, contribuant à augmenter la température des îlots urbains.

Enfin, la circulation automobile vient aggraver fortement la surchauffe des logements de nos grandes villes : à la fois parce que la chaleur dégagée par des dizaines de milliers de moteurs à explosion s'ajoute à celle venue du soleil, et parce que le bruit empêche bien souvent d'ouvrir les fenêtres la nuit, alors que la température extérieure s'est rafraîchie.

Conçues pour les voitures, les villes modernes ont oublié le soleil



En été, la température nocturne au centre des grandes villes est supérieure de 3 à 4 °C à celle de la campagne environnante.

La clim', solution à problèmes

La solution unanimement proposée, pour éviter le retour des problèmes rencontrés en 2003 est le recours généralisé à la climatisation : une solution radicale, en effet, pour " faire tomber la fièvre " dans les logements, les bureaux, les écoles ou les maisons de retraite.

Mais une solution qui ne traite que le symptôme sans s'attaquer aux causes, et avec un traitement à la fois coûteux et écologiquement aberrant. D'un simple point de vue économique, une généralisation rapide de la climatisation est impossible : les appareils sont chers et le resteront. Ceux qui en ont le plus besoin – les familles à revenus modestes habitant des maisons ou des appartements construits à l'économie et donc plus chauds en été – ne pourront se permettre cet investissement, et seules les maisons de retraite "haut de gamme" auront les moyens d'équiper toutes les chambres.

Mais le pire reste le coût écologique et l'absurdité d'une solution qui, si elle résout le problème ponctuellement, l'aggrave à long terme, puisqu'elle augmente la consommation d'énergie, accroît l'effet de serre et donc le réchauffement du climat !

Il existe, fort heureusement, d'autres solutions qu'une généralisation de la climatisation. Nous invitons les lecteurs de ce livre à comprendre les causes de surchauffe de nos bâtiments, puis à mettre en œuvre les moyens de s'en prémunir, simplement et efficacement.

Canicule et légionelles

La climatisation généralisée de nos bâtiments (grandes surfaces, bureaux, services) aggrave également les risques sanitaires urbains. En effet, dans les installations de climatisation mal entretenues, les tours de refroidissement " crachent " dans l'atmosphère des millions de bactéries, les légionelles, que nous respirons dans la rue ou dans l'environnement proche.

La réglementation, pourtant sévère, en matière d'entretien des systèmes de climatisation, ne parvient pas à éliminer le risque de légionellose. On en arrive à cette situation absurde : les risques de légionellose concernent moins ceux qui bénéficient de la climatisation chez eux que le passant qui, au-dehors, n'en bénéficie pas.

La chaleur, nos maisons et nous

Notre corps et la chaleur

Notre température corporelle normale est de 37 °C ; elle est maintenue grâce à l'énergie apportée par les aliments.

Une partie de cette énergie (appelée métabolisme basal) sert au bon fonctionnement de nos différents organes, et une autre est transformée en énergie mécanique pour nous permettre par exemple de marcher ou de courir.

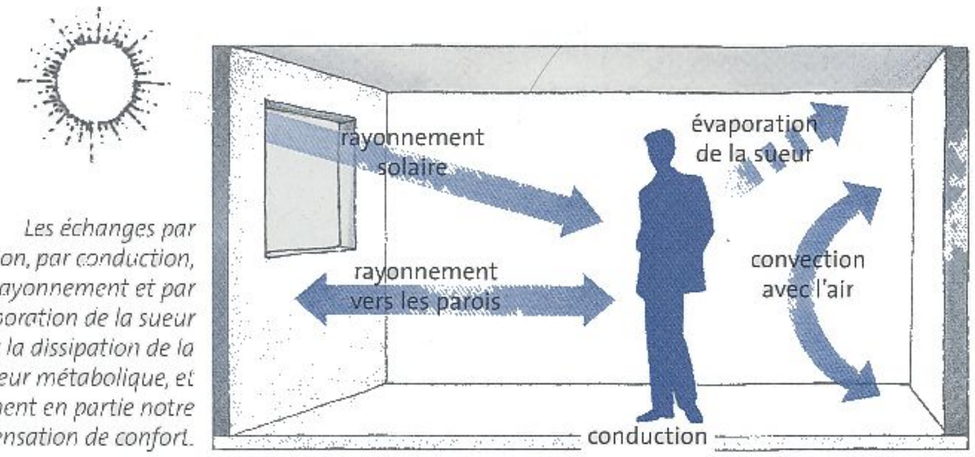
Les échanges d'énergie entre notre corps et l'environnement impliquent quatre mécanismes :

> La **convection**, qui correspond aux échanges entre la peau et l'air qui l'entoure. Cet échange est d'autant plus intense que l'air est en mouvement et que l'écart de température entre le corps et l'air est élevé.

> La **conduction**, qui caractérise les échanges entre la peau et les objets avec lesquels celle-ci est en contact. Par exemple, les échanges avec un matelas lorsqu'on est couché, avec nos chaussures, ou bien avec le sol lorsque l'on a les pieds nus.

> Le **rayonnement** correspond aux échanges entre la peau et les éléments solides se trouvant dans son environnement (vêtements, mais aussi murs, plafond, sol, sources de chaleur) sans contact direct. Les échanges se font du corps le plus chaud vers le plus froid. C'est le rayonnement qui fait que le soleil ou un feu de cheminée nous réchauffent même lorsque la température de l'air est basse, ou encore que des murs froids nous rafraîchissent même si la température de l'air est élevée.

> La **transpiration**, liée à l'évaporation de sueur. Au repos, dans des conditions de température normales, nous évaporons par sudation environ 1/3 de litre d'eau par



Les échanges par convection, par conduction, par rayonnement et par évaporation de la sueur permettent la dissipation de la chaleur métabolique, et déterminent en partie notre sensation de confort.

jour. Cette quantité augmente considérablement en cas d'exercice physique intense ou quand la température de l'air est élevée.
Toute l'énergie du métabolisme basal et l'énergie mécanique sont finalement dissipées dans l'environnement immédiat sous forme de chaleur. Un homme au repos émet environ 90 à 120 watts par heure, soit sensiblement autant que la chaleur dissipée par une ampoule à incandescence de même puissance.

Les règles d'or du confort thermique

La notion de "confort" est quelque chose de très personnel, et varie sensiblement en fonction de chacun...

On considère habituellement que la température de confort se situe entre 20 °C et 27 °C (température de l'air à l'ombre), ces limites pouvant varier légèrement selon les individus et la manière dont on est habillé.

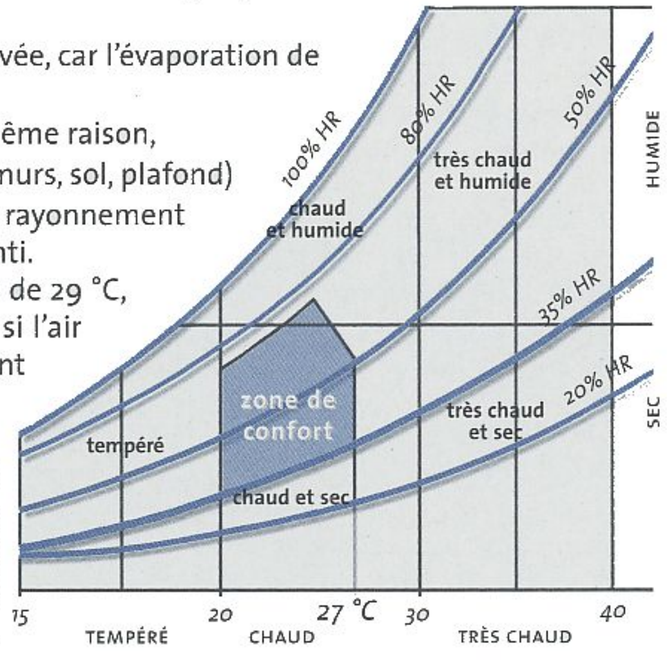
Cependant la température de l'air ambiant n'est qu'un des facteurs, auquel il faut ajouter :

- l'hygrométrie de l'air, c'est-à-dire sa teneur en vapeur d'eau,
- la vitesse de l'air au voisinage de la peau,
- la température des parois de la pièce où l'on se trouve,
- la température des objets en contact avec le corps,
- la façon dont nous sommes habillés,
- et notre niveau d'activité.

Par exemple, si **la température de l'air** est de 29 °C, nous avons trop chaud :

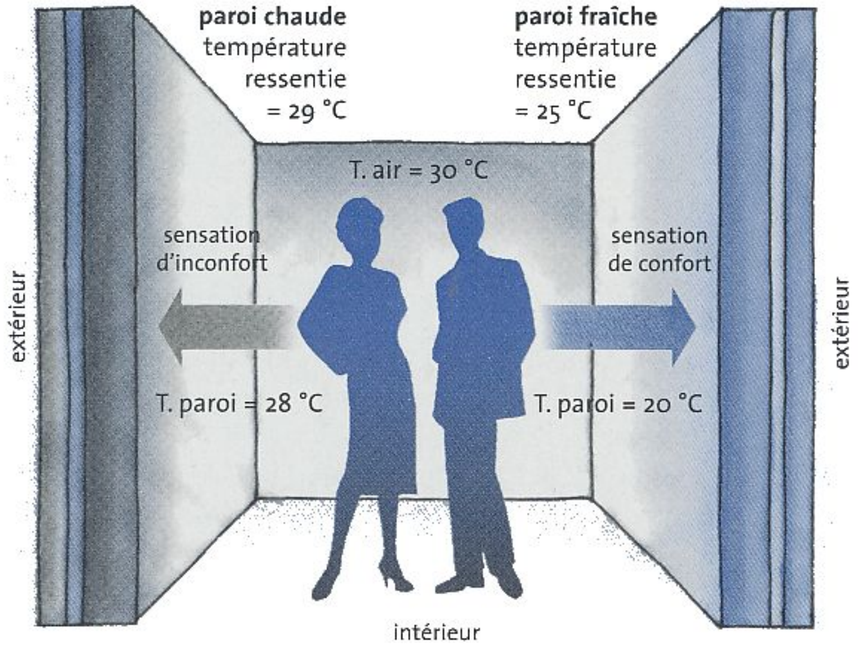
- si l'hygrométrie de l'air est élevée, car l'évaporation de la sueur sera ralentie,
- si l'air est immobile, pour la même raison,
- si **la température des parois** (murs, sol, plafond) est proche de celle de l'air, car le rayonnement du corps vers ces parois est ralenti.

Mais, à la même température de 29 °C, nous pourrons nous sentir bien si l'air est sec, s'il est mis en mouvement



Pour la plupart d'entre nous, par vent nul ou faible, la sensation de "confort " correspond à une température de 20 à 27 °C et à un taux d'humidité relative compris entre 20 % à 80 % (avec un optimum entre 35 et 60 %).

La température ressentie est la moyenne entre la température des parois et celle de l'air.



par une brise légère ou par un ventilateur, ou si les parois sont fraîches.

L'impact de la température des parois sur la sensation de confort est particulièrement important, et généralement sous-estimé, aussi bien en été qu'en hiver. La température que nous ressentons n'est en effet pas celle de l'air, mais la moyenne entre la température de l'air et de celle des parois environnantes[1].

Ainsi, en hiver, nous aurons la même sensation de confort avec de l'air à 18 °C et des murs à 20°C (moyenne 19 °C), qu'avec de l'air à 22 °C et des murs à 16 °C (dont la moyenne est également de 19 °C). De, même en été, une température de l'air de 30 °C reste agréable si les murs sont à 20 °C (moyenne 25 °C), alors que nous souffrirons de la chaleur si les murs sont à 28 °C (moyenne 29 °C).

C'est aussi ce qui explique que, en hiver, nous ressentons rapidement une sensation de froid à proximité d'un vitrage peu isolant, dont la température est basse.

En matière d'**hygrométrie**, la zone de confort se situe entre 35 et 60 %. Au-dessous de 20 %, l'air nous paraît trop sec, avec une assèchement désagréable des muqueuses bucco-pharyngiennes. Au-dessus de 80 %, l'ambiance reste supportable si la température n'est pas trop élevé.

Quant à la mise en **mouvement de l'air**, son effet rafraîchissant, voire refroidissant en hiver en cas de courant d'air ou de grand vent, nous est familier. L'inconfort dû au vent est étroitement lié à la température : à 26 °C, nous ne sommes pas incommodé par un courant d'air de 0,4 m/s, alors qu'à 20 °C, il sera inconfortable dès 0,15 m/s.

[1] *C'est ce que l'on appelle la température résultante, plus précisément égale à 0,55 x (température de l'air) + 0,45 x (température des parois, pondérée par leur surface relative au regard du corps).*

Une enquête révélatrice

Certaines maisons restent fraîches quelle que soit la température extérieure, alors que d'autres se réchauffent rapidement. Avant d'analyser les causes de ces différences, il était intéressant de vérifier sur le terrain la réalité et l'importance de ce constat.

La canicule d'août 2003 en a fourni l'occasion, saisie par la revue *Les Quatre Saisons du Jardinage* - publiée par les éditions terre vivante -, qui a lancé une enquête auprès de ses lecteurs. Les quelque 400 réponses au questionnaire ont mis en évidence des différences considérables sur le confort d'été selon les situations, en particulier selon la manière dont les maisons avaient été construites.

Le premier constat est que, à température extérieure égale, la température maximale mesurée dans la salle de séjour ou dans les chambres – en l'absence de climatisation – a varié dans des proportions considérables : de 25°C dans les maisons les plus fraîches à 38°C dans les plus chaudes. Les plus fraîches étaient souvent de vieilles maisons aux murs épais, en pierre ou en pisé. Les plus chaudes étaient en général des maisons modernes en parpaings ou en béton. Mais bien d'autres facteurs ont joué, comme l'orientation du logement, la présence ou l'absence de protections solaires, la dimension des fenêtres, l'isolation de la toiture et des murs.

Toutefois, un des enseignements les plus intéressants de cette enquête a été de montrer que le diagnostic habituel - maison ancienne = fraîcheur et maison moderne = chaleur - était loin de se vérifier dans tous les cas. Certaines maisons modernes non climatisées sont restées fraîches. Leurs relatives bonnes performances s'expliquaient chaque fois par l'addition d'un ensemble de facteurs favorables au maintien de la fraîcheur (bonnes protections solaires, orientation favorable de la maison et des ouvertures, ventilation efficace, etc.).

Les matériaux des parois ont également une grande importance : il s'est avéré, par exemple, que la brique large et alvéolée ou brique "monomur" protégeait presque aussi bien de la chaleur que des murs épais en pierre, alors que les maisons à ossature bois se réchauffaient rapidement en été, même avec une bonne isolation, si on ne mettait pas en œuvre des mesures pour les protéger de la chaleur.

Votre maison et la canicule : extraits de l'enquête de la revue
Les Quatre Saisons du jardinage

➧ Dans la maison de la famille W, dans la Drôme, alors que la température extérieure a dépassé 40 °C plusieurs jours de suite, il n'a jamais fait plus de 24 °C le jour et 23 °C la nuit dans le séjour. Sans climatiseur. La maison est en pisé, avec de murs de 70 centimètres d'épaisseur. Les fenêtres sont petites et munies de volets maintenus fermés dans la journée. La nuit, au contraire, fenêtres et volets étaient ouverts en grand.

➧ La famille X, dans le Gard, n'a pas davantage souffert de la canicule. Alors que la température extérieure est restée voisine de 39 °C pendant toute une semaine, la température dans le séjour n'a jamais dépassé 27 °C le jour et 22 °C la nuit. Il s'agit pourtant d'une maison moderne, construite dans les années 1990. Mais les murs sont en briques "monomur" (briques de 37 centimètres de largeur, à alvéoles multiples, servant à la fois de murs porteurs et d'isolant), un large débord de toiture protège du soleil, les fenêtres sont pourvues de volets maintenus fermés pendant la journée, et la toiture est isolée.

➧ Dans le Val-d'Oise, chez la famille Z, les températures maximales à l'intérieur furent sensiblement plus élevées, mais encore très supportables, avec 28 °C dans la journée et 27 °C la nuit pendant les deux journées les plus chaudes, alors que la température extérieure dépassait 39 °C. Cette famille habite pourtant une maison moderne en parpaings, aux murs peu épais, un type de maison réputé se transformer en fournaise l'été. Mais le propriétaire a tout mis en œuvre pour limiter le réchauffement : volets peints en blanc et fermés aux heures les plus chaudes, ventilation mécanique prenant l'air dans la cave (où la température n'a jamais dépassé 19 °C), bonne isolation de la toiture, ouverture des fenêtres avec création de courants d'air la nuit.

➧ Dans les Yvelines, dans une maison du même type, la famille Y a en revanche beaucoup souffert de la chaleur : les températures ont atteint 36 °C dans le séjour et 40 °C dans les chambres ! Une accumulation de facteurs défavorables explique ces températures extrêmes : situation en zone urbaine, volets ajourés (moins protecteurs que des volets pleins), isolation peu épaisse du plancher du grenier et absence d'isolation de la toiture, fenêtres ouvertes pendant la journée.

Les personnes habitant en ville, en appartement, et ne bénéficiant ni de protections solaires ni de climatisation ont pour la plupart subi des températures supérieures à 35°C le jour et à 30 °C la nuit, largement au-dessus de la zone de confort.

Les grosses chaleurs plus redoutables que le froid

Comment le corps lutte contre la chaleur

Chaque hiver, des personnes sans domicile fixe meurent de froid, et c'est évidemment inacceptable. Mais jamais, ces dernières années, le froid en lui-même n'a causé d'hécatombes semblables à celle provoquée par la canicule en 2003, qui aura été révélatrice de la mauvaise capacité de résistance corporelle des personnes affaiblies aux grandes chaleurs.

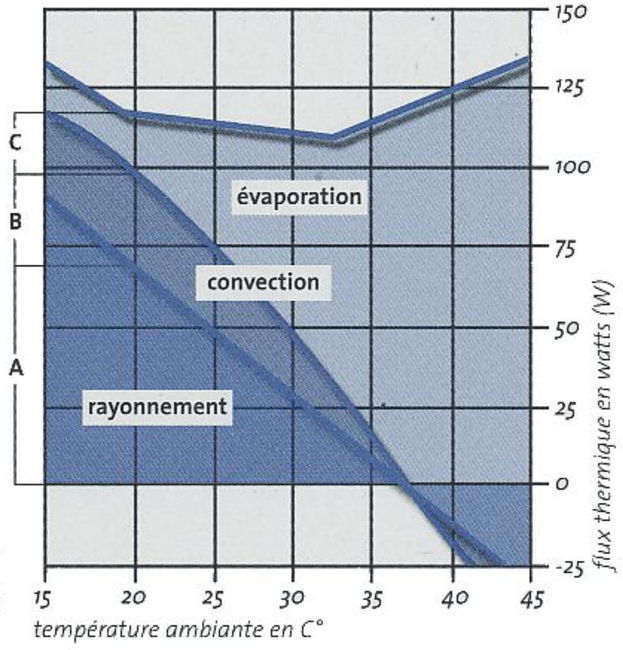
Lutter contre le froid est simple, car nous disposons pour y parvenir de multiples possibilités : se vêtir chaudement, avoir une alimentation adaptée, riche en calories, faire de l'exercice. L'homme peut ainsi affronter des températures extérieures beaucoup plus basses que la température du corps.

Mais lutter contre la chaleur est beaucoup plus difficile. Le premier réflexe est de réduire l'isolation procurée par nos vêtements, de s'habiller plus léger, c'est-à-dire d'augmenter les échanges par conduction, par convection et par rayonnement pour évacuer le plus possible de chaleur corporelle.

Lorsque nous sommes très peu vêtus et que la température extérieure atteint un niveau tel que ces échanges ne peuvent plus se produire[2], le corps doit prendre lui-même le relais par un mécanisme de rafraîchissement. Nous disposons pour cela d'une fonction remarquable : la transpiration. L'augmentation de la température corporelle est alors régulée par le rafraîchissement dû à l'évaporation de la sueur sur la peau.

Cette fonction régulatrice atteint cependant assez vite ses limites si la température extérieure continue d'augmenter, ou en cas de déshydratation. Au-delà, la température corporelle augmente avec un risque rapide d'hyperthermie.

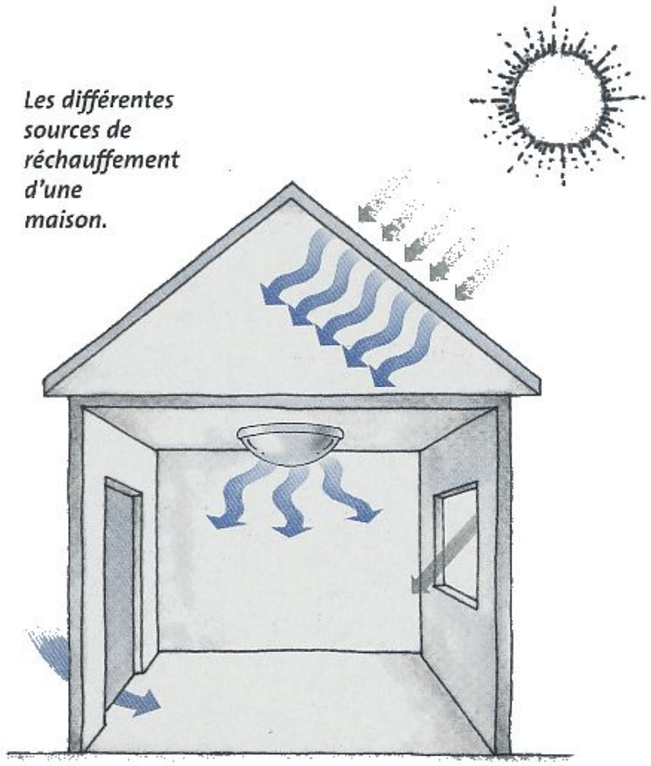
Flux thermique humain en watts (W) en fonction de la température ambiante [1]. *La chaleur humaine se dissipe par rayonnement (A), convection (B) et évaporation (C). La répartition entre ces trois types de transfert de chaleur varie beaucoup avec la température ambiante. Pour une activité de bureau, et à une température de 20 °C, une personne émet 72 watts par rayonnement, 25 watts par convection et 22 watts par évaporation. Si la température ambiante augmente, la part de l'évaporation augmente considérablement. À 37 °C, l'échange par rayonnement et convection est nul : toute la chaleur émise par notre corps doit être évacuée par évaporation.*



[2] *À partir d'un certain niveau, c'est au contraire l'environnement qui réchauffe notre corps par rayonnement, conduction (murs et sol chauds) ou convection (air chaud).*

Comment nos maisons se réchauffent

Pour comprendre pourquoi des maisons ou des bâtiments sont plus ou moins chauds l'été, il faut avant tout faire l'inventaire des causes principales de réchauffement :



Les différentes sources de réchauffement d'une maison.

> La pénétration directe du soleil par les fenêtres.

Si les fenêtres exposées à l'ensoleillement ne sont pas protégées par un masque (un débord de toiture, un balcon, des arbres) ou par des stores ou des volets, le rayonnement solaire pénètre à l'intérieur et réchauffe l'air ainsi que les parois et le mobilier. Cette chaleur se diffuse ensuite par conduction dans la masse des matériaux, par convection entre l'air et la surface des parois, et par rayonnement vers les autres parois.

> La pénétration indirecte par les murs et la toiture.

Le soleil qui frappe les murs extérieurs et le toit réchauffe ces parois. Cette chaleur est transmise par conduction vers l'intérieur, plus ou moins rapidement selon leur épaisseur et les matériaux qui les constituent. Avec un certain retard, une partie de la chaleur absorbée par les parois finit par participer à l'accroissement de la chaleur intérieure.

> La pénétration de l'air chaud par les ouvertures.

Lorsqu'on ouvre la porte ou les fenêtres pendant la journée, l'air chaud pénètre dans la maison. Si portes et fenêtres sont trop perméables, l'air chaud pénètre même quand elles sont fermées, tout comme l'air froid en hiver.

> La production de chaleur à l'intérieur du bâtiment.

Tout local occupé possède des sources de chaleur : les occupants eux-mêmes, mais aussi les sources d'éclairage, les appareils électroménagers, l'équipement de bureautique, les appareils de cuisson. Dans les locaux bien isolés, leur participation au réchauffement peut être très importante. L'utilisation d'appareils économes en énergie permet de réduire la chaleur dissipée lorsqu'ils sont en fonctionnement.

> La capacité insuffisante des parois à absorber la chaleur.

Les matériaux de construction à forte inertie (en général les matériaux lourds) sont capables de stocker une quantité importante de chaleur, et se réchauffent plus lentement et plus faiblement que des matériaux à faible inertie, comme la plupart des isolants. Inversement, des murs à faible inertie (en parpaings peu épais par exemple) stockent peu de chaleur et la restituent rapidement à l'intérieur.

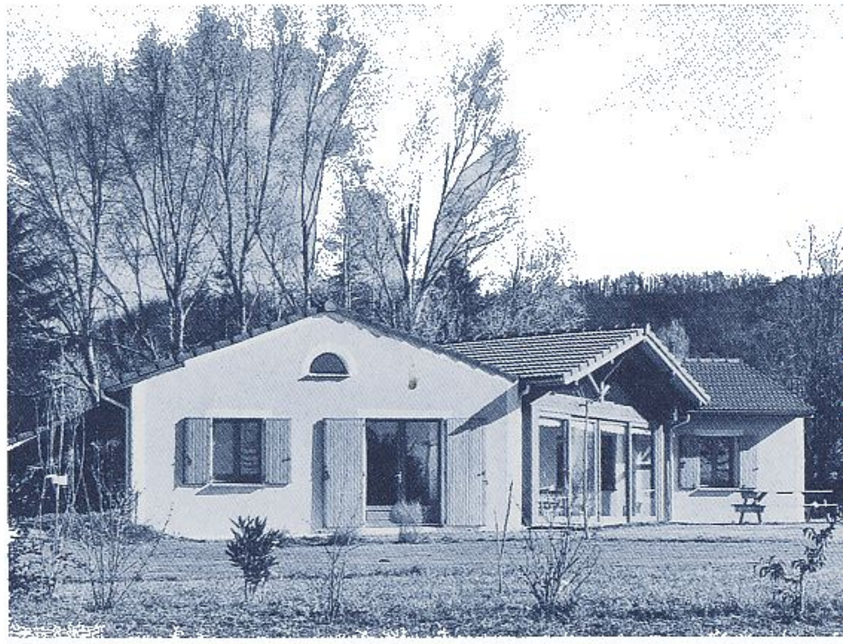
> Le renouvellement insuffisant de l'air frais de la nuit.

Pour évacuer la chaleur accumulée pendant la journée, un moyen efficace consiste à faciliter la pénétration, et surtout le renouvellement rapide de l'air frais de la nuit (surventilation). Cette méthode reste toutefois limitée en ville, où l'abaissement nocturne de la température de l'air extérieur est plus faible que dans la campagne.

Protéger nos maisons du soleil

Construire en fonction du climat, mettre à profit la végétation pour atténuer l'ensoleillement et favoriser le rafraîchissement, orienter correctement les pièces en fonction de leur usage et de la course du soleil, utiliser des dispositifs architecturaux simples (avancées de toiture, murs latéraux) pour occulter une partie du rayonnement solaire : pour rafraîchir l'intérieur, commençons par l'extérieur !

Une architecture adaptée au climat



N'ayant à leur disposition qu'une gamme très réduite de matériaux et de technologies, nos anciens savaient compenser cette simplicité par une remarquable et intuitive compréhension du climat.

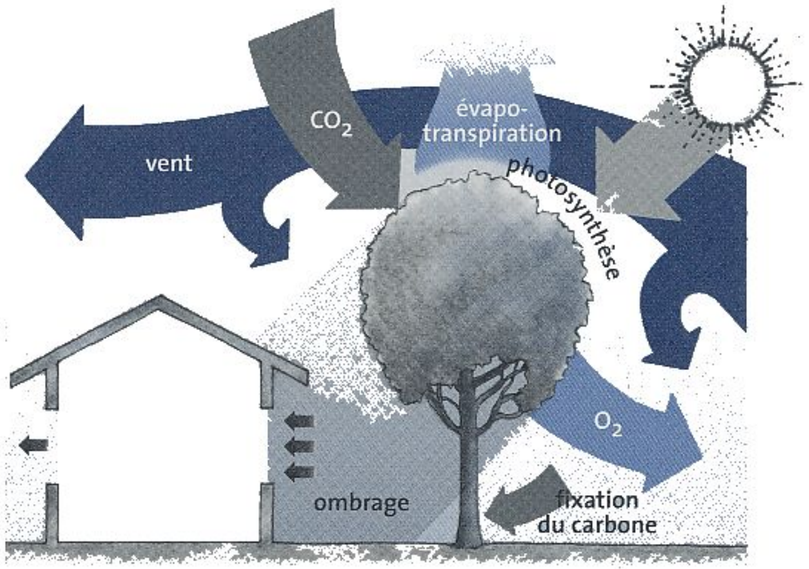
Ainsi, dans les régions chaudes, l'architecture locale a su faire preuve de sobriété et d'ingéniosité pour se protéger des surchauffes et du rayonnement solaire.

Tout d'abord, l'emplacement des groupements habités n'était pas dû au hasard : le relief et la direction des vents conditionnaient le plus souvent l'implantation et le plan de masse des villages. La disponibilité en eau était également un facteur essentiel, non seulement pour les besoins humains, mais aussi parce que sa présence permettait la création d'un microclimat estival supportable, grâce à une végétation abondante.

L'organisation en ruelles étroites créait des masques naturels sur les étages inférieurs, protégeant les façades sud.

Enfin, la ventilation naturelle des logements était favorisée. Pour cela, les maisons n'étaient pas orientées dans le sens du vent ni face à lui (ce qui crée des accélérations et des tourbillons forts et peu agréables), mais souvent orientées à 20 à 30° par rapport aux vents dominants : l'écoulement plus régulier de l'air provoque alors des différences de pression permettant une ventilation efficace des habitations.

Aujourd'hui, pour maintenir une ambiance confortable, nos équipements et l'apport d'énergie extérieure offrent des facilités qui nous ont fait perdre cette compréhension intime du climat. Pour obtenir de la " fraîcheur sans clim' ", il est essentiel de limiter la pénétration du rayonnement solaire et de la chaleur extérieure : il est possible de le faire avec simplicité et élégance en tenant mieux compte du climat et de l'environnement.



Les avantages multiples de la végétation : elle crée un ombrage, protège du vent, oxygène l'air, rafraîchit par évapotranspiration, protège des poussières et fixe le carbone pendant la croissance des plantes. Difficile de faire mieux !

Vive le rafraîchissement microclimatique !

L'environnement végétal de la maison

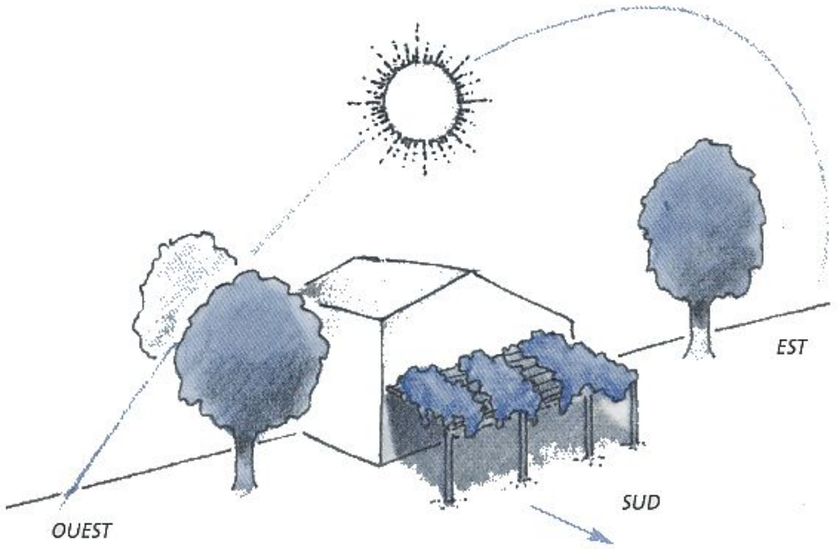
La végétation extérieure agit de multiples manières sur le climat intérieur :

- les arbres proches ombragent les façades à certaines heures de la journée, en fonction de leur emplacement et de leur taille ;
- les pergolas, les toitures et façades végétalisées interceptent une partie des rayons solaires ;
- en augmentant l'humidité de l'air environnant, la végétation crée autour de la maison un microclimat plus frais ;
- enfin, comparée à un revêtement minéral ou goudronné, la végétation au sol (arbres, arbustes, surfaces en herbe) limite la surchauffe de celui-ci.

Entourer sa maison d'arbres ou de haies protège contre le soleil en été et contre les regards indiscrets, mais il ne faut évidemment pas le faire au détriment des apports solaires d'hiver et de l'éclairement naturel.

Pour y parvenir, il est possible d'agir à la fois sur le choix des espèces, sur leur emplacement et sur leur densité :

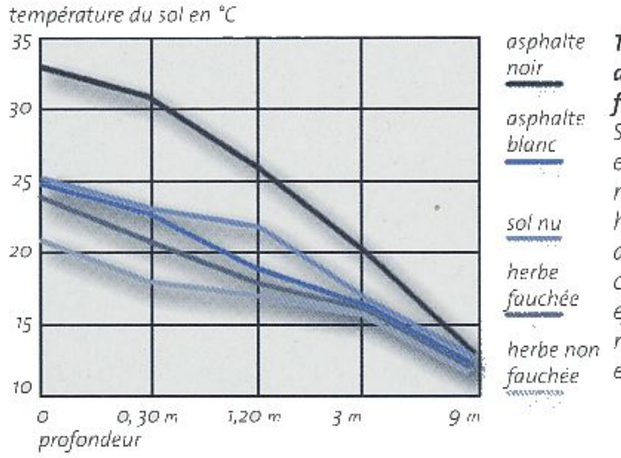
- en choisissant des espèces à feuilles caduques, qui protègent du soleil en été et le laissent passer en hiver ;
- en plantant les arbres de préférence à l'est et à l'ouest. Si, au sud, un débord de toiture ou une pergola peuvent protéger efficacement du soleil estival tout en laissant passer le rayonnement solaire en hiver, un tel débord est inefficace vers l'est et vers l'ouest. La plantation d'arbres permet d'occulter en été un soleil assez puissant sur ces faces.



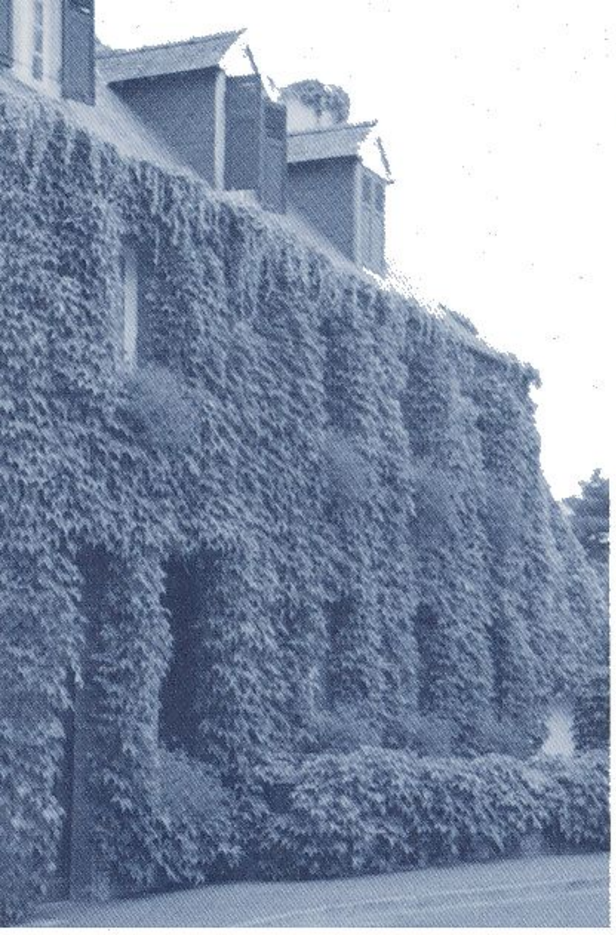
Pour favoriser l'ombrage estival sans pénaliser l'ensoleillement hivernal, il est préférable de planter des arbres à l'ouest et à l'est, et de protéger la façade sud par des dispositifs à feuilles caduques.

La nature du revêtement du sol autour de la maison a également un impact important sur la température autour de la maison et à l'intérieur. Un revêtement minéral (asphalte, ciment, dalles en pierre) absorbe et accumule le rayonnement solaire pendant la journée, et le restitue en partie sous forme de chaleur (rayonnement infrarouge) pendant la nuit.

Enfin, l'albédo du sol (c'est-à-dire son pouvoir réfléchissant) a aussi une grande importance : la végétation ayant un faible albédo, un bâtiment entouré d'un sol végétalisé recevra par réflexion moins de rayonnement solaire supplémentaire que s'il est entouré par un sol nu ou aménagé de matériaux lisses et réfléchissants.



Température du sol à différentes profondeurs en fonction de la nature de son revêtement [2]. *Selon ces mesures, au niveau du sol et à 30 cm de profondeur, la température maximale d'un sol couvert de végétation haute est inférieure de plus de 12 °C à celle d'un sol couvert d'asphalte noir et de 5 °C à celle d'un sol nu. Une herbe haute est plus efficace qu'une herbe basse : elle réfléchit moins la chaleur et son évapotranspiration est plus forte.*



Murs végétaux et pergolas

Lorsqu'elle est suffisamment dense, la végétation murale constitue une barrière très efficace contre la pénétration des rayons solaires. De plus, l'évaporation des plantes maintient au niveau du mur une température nettement inférieure à celle de l'air ambiant.

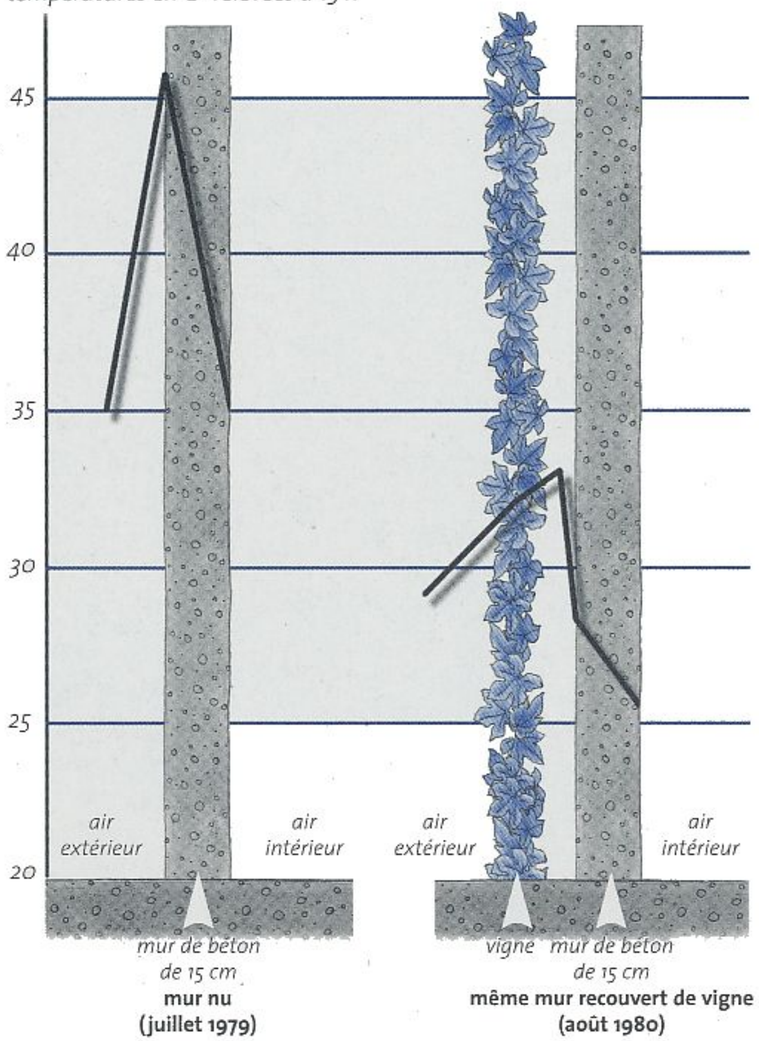
Le lierre présente l'avantage de ne pas nécessiter de support et d'avoir un feuillage persistant. Il ne dégrade pas les murs à la condition que ceux-ci soient en bon état au départ. Mais bien d'autres plantes peuvent grimper contre des murs après installation d'un support. La plupart d'entre elles fleurissent et quelques-unes donnent des fruits.

À défaut de végétaliser les murs, on pourra garnir terrasses, balcons et pergolas de plantes pour contribuer à créer un microclimat plus frais.

Sélection de plantes grimpantes pour façades ou pergolas.

Espèce	Feuillage	Vitesse de croissance	Exposition	Fleurs	Mode d'accrochage	Support	Commentaires
Glycine de Chine *(Wisteria sinensis)*	caduc assez dense	très rapide	soleil ou mi-ombre	lilas	tiges volubiles	treillis, tiges ou tuteurs	peut atteindre 30 mètres de hauteur
Actinidia (kiwi) *(Actinidia sinensis ou quinata)*	caduc assez dense	rapide	soleil ou mi-ombre	blanches mai-juin	tiges volubiles	treillis, tiges ou tuteurs	fruits très riches en vitamine C
Vigne *(Vitis vinifera)*	caduc assez dense	rapide	soleil ou mi-ombre	peu visibles	vrilles	treillis	production de raisin de table
Jasmin officina *(Jasminum officinale)*	caduc assez dense	moyenne	soleil	blanches mai-juin	aucun	treillis	fleurs très parfumées ; craint le froid

Espèce	Feuillage	Vitesse de croissance	Exposition	Fleurs	Mode d'accrochage	Support	Commentaires
Lierre commun *(Hedera helix)*	persistant dense	lente	ombre ou mi-ombre	peu visibles	crampons	inutile	
Lierre des Canaries *(Hedera canariensis)*	persistant dense	rapide	ombre ou mi-ombre	peu visibles	crampons	inutile	
Vigne vierge ou Lierre du japon *(Parthenocissus tricuspidata)*	caduc dense	très rapide	indifférent	peu visibles	ventouses	inutile	peut devenir envahissante ; belles couleurs en automne
Vigne vierge vraie *(Parthenocissus quinquefolia)*	caduc dense	rapide	indifférent	peu visibles	ventouses	inutile	feuillage devenant rouge en automne
Bignone *(Campsis radicans)*	caduc dense	rapide	soleil	rouge-orangé juin-sept.	crampons	inutile	feuillage vert clair
Hortensia grimpant *(Hydrangea petiolaris)*	caduc assez dense	rapide	ombre ou mi-ombre	blanches juin-juillet	crampons	inutile	
Clématite à petites fleurs *(Clematis montana)*	caduc assez dense	très rapide	soleil ou mi-ombre	roses à blanches avril-juin	pétioles volubiles	treillis	
Clématite italienne *(Clematis viticella)*	caduc moyennement dense	moyenne	soleil	rouges juin-sept.	pétioles volubiles	treillis	feuillage vert foncé ; hauteur limitée à 4 m
Chèvrefeuille commun *(Lonicera caprifolium)*	caduc assez dense	moyenne	soleil ou mi-ombre	blanc-jaune mai-juin	tiges volubiles	treillis, tiges ou tuteurs	hauteur limitée entre 3 et 5 mètres
Glycine du Japon *(Wisteria floribunda)*	caduc assez dense	rapide	soleil ou mi-ombre	bleu-violet avril-juin	tiges volubiles	treillis, tiges ou tuteurs	craint les expositions ventées



Une protection végétale abaisse nettement la température d'un mur exposé au soleil.

Mesures réalisées en Floride sur l'effet protecteur de protections végétales [3].

Type de protection	*Diminution de la température diurne d'un mur par rapport au même mur dépourvu de protection végétale*	
	Mur à l'ombre	*Mur au soleil*
Arbres	– 3,9 °C	– 13,5 °C
Arbres + haies	– 5,5 °C	– 15,5 °C
Plantes grimpantes peu denses	– 4,4 °C	– 7,7°C
Plantes grimpantes denses	– 4,2 °C	– 8,9 °C

Les toitures végétales

Peu répandues en France, les toitures végétales sont plus nombreuses dans les pays nordiques, en particulier en Suède, pays pionnier dans ce domaine.

Elles permettent une très bonne protection solaire du toit, car le rayonnement solaire est partiellement absorbé par la végétation, le reste étant absorbé par la terre. Grâce à leur forte masse thermique et à l'évapotranspiration, ces toitures amortissent fortement la pénétration de la chaleur extérieure et stabilisent la température des parois sous-jacentes.

Enfin, les toitures végétales limitent le ruissellement des eaux de pluie et participent à l'intégration des bâtiments dans le paysage.

Les toitures-terrasses sont évidemment les plus adaptées, mais il est également possible de végétaliser des toits en pente, à la condition que cette dernière ne soit pas trop forte (moins de 25°).

Les techniques de végétalisation – et les plantes utilisables à cet effet – sont nombreuses, et le lecteur en trouvera la description dans les ouvrages spécialisés. En pratique, la meilleure solution est souvent de faire appel à une entreprise qui fournit la toiture végétale, sous forme d'éléments prêts à poser ; ceux-ci incluent à la fois l'étanchéité, le substrat et les plantes, en général des sédum . Les plantes de cette famille présentent en effet l'avantage d'être très résistantes à la sécheresse, de se contenter de substrats de faible épaisseur et de nécessiter peu d'entretien.

Utiliser des matériaux et des couleurs réfléchissants

Lorsque le rayonnement solaire frappe la surface d'une paroi, une partie de l'énergie est réfléchie, c'est-à-dire renvoyée dans l'environnement, mais une autre partie est absorbée par le matériau, contribuant ainsi à son échauffement. Pour éviter que la chaleur solaire ne soit absorbée, qu'elle ne s'accumule dans les parois et ne finisse par pénétrer à l'intérieur, il faut donc que la part du rayonnement réfléchie soit maximale.

Des maisons qui réfléchissent !

C'est ainsi que, par exemple, à ensoleillement égal, il fait moins chaud dans une voiture blanche que dans une voiture noire. Une peinture lisse noire absorbe en effet 90 % du rayonnement solaire, alors qu'une peinture blanche en absorbe beaucoup moins (de l'ordre de 20 %) et possède en revanche un fort pouvoir de réflexion (80 %).

Matériaux	*Absorption*	*Réflexion (albédo)*
Plâtre blanc	7 %	93 %
Chaux	10 %	90 %
Aluminium	15 %	85 %
Peinture blanche	20 %	80 %
Peinture jaune	33 %	67 %
Calcaire clair	35 %	65 %
Calcaire sombre	50 %	50 %
Brique claire	52 %	48 %
Ciment	66 %	34 %
Brique rouge	68 %	32 %
Béton	70 %	30 %
Sable sec	75 %	25 %
Gazon	80 %	20 %
Peinture vert sombre	88 %	12 %
Peinture lisse noire	90 %	10 %
Asphalte	93 %	7 %

Coefficients d'absorption et de réflexion du rayonnement solaire de divers matériaux de construction et de revêtement de sol.

Dans l'habitat, une application simple de ce principe consiste à utiliser des couleurs claires pour les murs et les toitures extérieures : les badigeons à la chaux blanche des pays méditerranéens et sahariens réfléchissent plus de 90 % du rayonnement solaire et atténuent fortement la pénétration de la chaleur solaire.

Il faut également veiller à limiter la réflexion indirecte du soleil : un revêtement très réfléchissant placé devant une paroi ou une fenêtre réfléchit une partie du rayonnement solaire, contribuant à une augmentation importante des apports de chaleur sur les façades. Ainsi, en montagne, la neige fraîche peut renvoyer plus de 90 % du rayonnement, doublant l'ensoleillement reçu par les parois ou les vitrages. La réflexion solaire par l'environnement, nommée albédo, peut être atténuée en veillant à aménager, en particulier devant les parois vitrées, un revêtement de sol peu réflecteur. Ainsi, un gazon ou toute autre végétation au sol réfléchit 3 à 4 fois moins de rayonnement solaire qu'un dallage clair et lisse.

La végétalisation du sol présente un autre avantage. Elle limite la réémission de la chaleur accumulée pendant la journée, particulièrement sensible avec un revêtement asphalté : l'évapotranspiration des plantes compense la réémission nocturne de la chaleur accumulée dans le sol.

Vitrages et rayonnement solaire

Lors de la conception générale d'une habitation ou d'un bâtiment, l'orientation des différentes fenêtres a une influence capitale sur la consommation d'énergie et le confort intérieur estival.

L'énergie solaire qui pénètre par un vitrage, à chaque moment de l'année, dépend :

- de la surface des vitres ;
- de leur orientation et de leur inclinaison ;
- de l'ombrage que peuvent faire les masques extérieurs (stores, débords de toiture, arbres, etc.).

Le choix de l'orientation des différents vitrages doit être fait avec soin. Il résulte toujours d'un double compromis : bénéficier du maximum de soleil en hiver et s'en protéger en été, rechercher la lumière naturelle et éviter l'éblouissement. Face à ces exigences contradictoires, il convient avant tout de bien comprendre quelles sont les orientations les plus exposées à l'ensoleillement estival.

Contrairement à une idée reçue, ce n'est pas plein sud que l'ensoleillement est maximal sur un vitrage vertical, mais de l'est au sud-est et du sud-ouest à l'ouest. Une surface verticale orientée exactement au sud ne reçoit pas plus de rayonnement en été que si elle était orientée à 120° vers l'est ou l'ouest à partir du sud, c'est-à-dire presque nord-est ou nord-ouest.

L'orientation verticale plein sud permet donc d'atténuer le rayonnement solaire incident en été. Cet effet est renforcé par un autre phénomène, appelé réflexion vitreuse, qui correspond à l'augmentation de la réflexion sur du verre dès que les rayons qui le frappent sont fortement inclinés. À partir d'un angle d'incidence du rayonnement supérieur à 50° par rapport à la perpendiculaire du vitrage, un verre standard réfléchit de plus en plus le rayonnement incident. À 70°, la réflexion est de l'ordre de 30 %, et à 80° elle est supérieure à 50 %.

Grâce à la double protection conférée par une orientation plein sud et par la réflexion vitreuse, il est donc possible de réaliser des serres ou des vérandas dont

Le piège de la fenêtre de toiture

Sur une toiture de pente moyenne (18° à 45°), une fenêtre de toiture (type Velux®) reçoit en été une énergie solaire considérable, quelle que soit son orientation. Cette énergie est toujours plus de deux fois supérieure à celle que reçoit un vitrage vertical de surface égale et d'orientation identique.

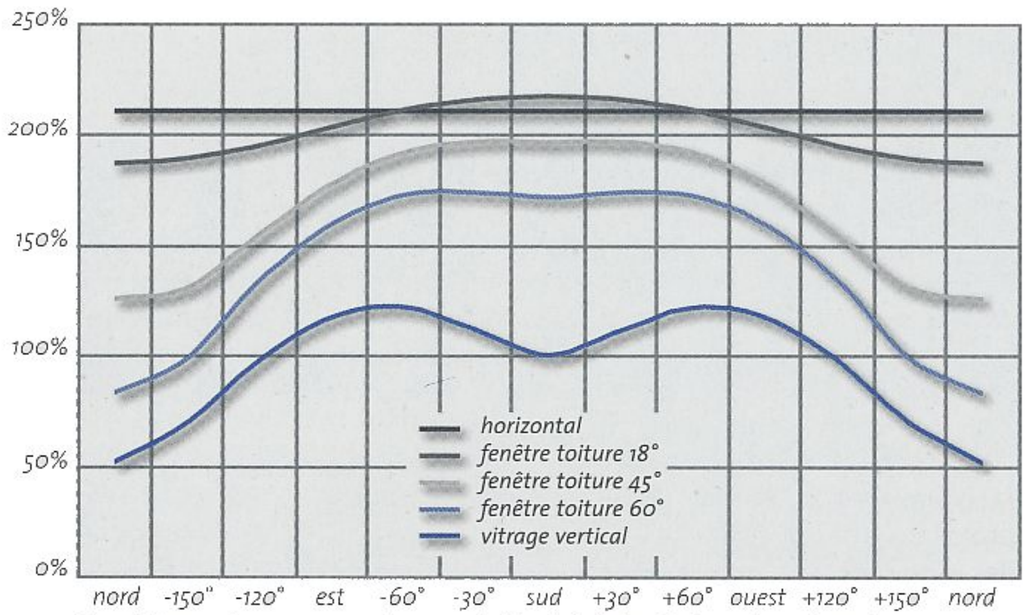
Ainsi, disposer une fenêtre sur la pente nord d'une toiture en tuiles du Midi (30 % de pente, soit 18°) ne diminue que de 14 % l'énergie reçue par rapport à une fenêtre identique installée sur la pente sud.

Orienter une fenêtre de toiture au nord, sur une pente réduite, réduit donc très peu le rayonnement solaire estival qu'elle reçoit : seul un store ou un volet extérieur occultera le rayonnement.

les vitrages participent peu à la surchauffe estivale, mais qui ont en hiver une fonction captatrice bénéfique.

Ce raisonnement n'est plus valable dès que les orientations s'écartent du sud de plus de 15° vers l'est ou vers l'ouest : le rayonnement incident augmente et l'effet de réflexion vitreuse est moins sensible .

Enfin, dès qu'un vitrage est légèrement incliné, même de 10 à 20°, l'ensoleillement qu'il reçoit augmente très rapidement : on peut retenir, en première approche, que, au sud, l'énergie reçue sur un mètre carré de vitrage incliné de 0 à 45° est environ le double de celle reçue par la même surface de vitrage vertical !



Ensoleillement reçu par un vitrage en juillet, à la latitude de Paris, en fonction de son orientation et de son inclinaison par rapport à l'horizontale *(100 % correspondent à un ensoleillement reçu par un vitrage vertical plein sud en juillet).*

Protections adaptées contre le soleil d'été en fonction de l'orientation des vitrages (vitrages verticaux).

Orientation générale	*Orientation en degrés (Sud : 0°)*	*Ensoleillement en été*	*Type de protection solaire sur vitrages verticaux*
Nord-est à nord-ouest	+ 120° à –120°	faible	inutile
Est	– 120° à – 60°	moyen	végétation
Sud-est	– 60° à – 20°	important le matin	stores ou volets
Sud	– 20° à + 20°	moyen	avancée de toiture, balcon
Sud-ouest	+ 20° à + 60°	important l'après-midi	stores ou volets
Ouest	+ 60° à +120°	moyen	stores ou végétation

Les protections architecturales fixes

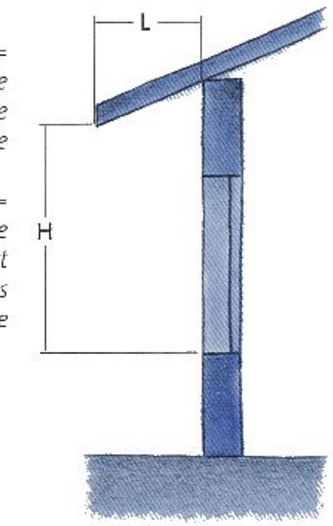
Il est possible de limiter assez efficacement la pénétration du soleil par toute une gamme de dispositifs architecturaux : balcon, avancée de toiture, positionnement de la fenêtre en retrait, flanc latéral (pan de mur situé à gauche ou à droite d'un vitrage). Ces protections ont cependant des effets très différents selon l'orientation de la façade concernée : elles peuvent se révéler très efficaces ou relativement illusoires.

Pour bénéficier d'un ombrage acceptable du 1er juin au 31 juillet, la longueur (L) de la "casquette" à prévoir au-dessus d'un vitrage pour obtenir une protection effective[1] peut s'évaluer en fonction de la hauteur entre le bas de la fenêtre et le point le plus bas de la casquette (H) :

Situation géographique	*Latitude*	*Vitrage au sud*	*Vitrage décalé de 15° vers l'est ou l'ouest*	*Vitrage décalé de 30° vers l'est ou l'ouest*
Sud de la France	44°	L > 0,48 xH	L > 0,55 xH	L > 0,77 xH
Centre de la France	48°	L > 0,56 xH	L > 0,62 xH	L > 0,82 xH
Nord de la France	52°	L > 0,64 xH	L > 0,69 xH	L > 0,86 xH

Au-delà de 15° de décalage par rapport au sud, l'efficacité d'une protection architecturale suppose des longueurs de protections constructives très supérieures (balcons, avancées de toiture) : seules de grandes pergolas ou des volets sont réellement efficaces.

Enfin l'ajout de flancs latéraux permet de réduire l'ensoleillement aux heures de surchauffe[2].

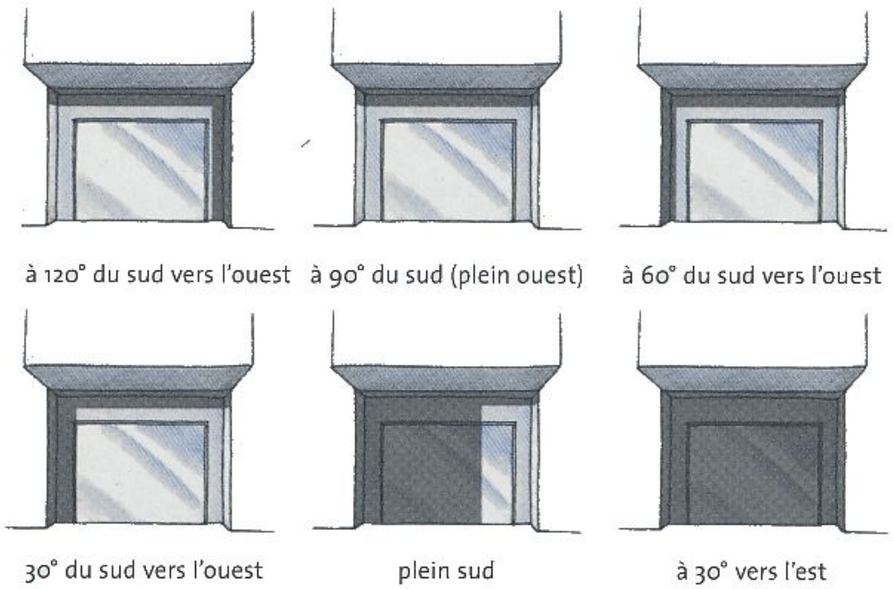


L = *longueur de l'avancée horizontale de la casquette*

H = *longueur entre le bas de la fenêtre et le point le plus bas du masque*

[1] *Facteur d'affaiblissement de la totalité du rayonnement direct et diffus supérieur à 50 % en juillet.*

[2] *La détermination optimale des dimensions de ces flancs est complexe, et il n'est pas possible de donner de règles simples. Le concepteur pourra utiliser la version de démonstration du logiciel PLEIADES + COMFIE (www.izuba.fr), qui permet de visualiser facilement de tels masques.*



L'effet protecteur d'un balcon à 17 heures en septembre selon différentes orientations.
Cette série de dessins montre l'ombre créée à 17 heures par une avancée de toiture (ou un balcon) de 1,40 mètres sur une porte-fenêtre en retrait de 0,40 centimètres, en fonction de différentes orientations[3].
Malgré leurs dimensions importantes, ces protections ne sont absolument pas suffisantes pour protéger efficacement les ouvertures situées à l'ouest.

3 Analyse réalisée avec le logiciel PLEIADES + COMFIE. Ciel pur, 44°. Débord supérieur : 1,4 m, Distance supérieure 0,6 m. Vitrage de 2,30 m de haut pour 3,00 m de large. Flancs gauche et droit : Débord 0,4 m et Distance 0,4 m. H = 2,9 m et L = 1,4 m, soit L = 0,48 H.

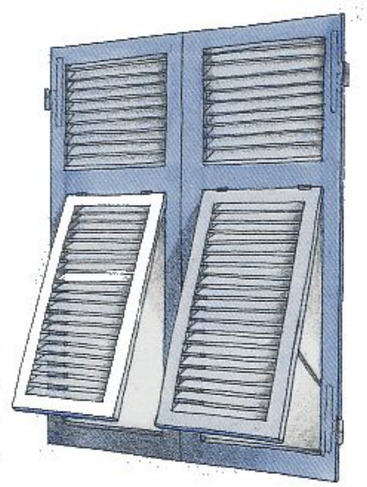
Protéger les fenêtres du soleil

Les protections solaires de fenêtres

Si la protection contre la pénétration du soleil aux heures les plus chaudes n'est pas assurée par un débord de toiture suffisant, par un autre masque architectural ou par de la végétation, il faut protéger chaque fenêtre individuellement du rayonnement solaire.

Il existe pour cela de nombreux dispositifs protecteurs comme les volets, les persiennes et les jalousies, les stores ou les films solaires.

Pour se prémunir des chaleurs estivales, les protections disposées à l'extérieur sont de très loin préférablest, car elles occultent l'ensoleillement avant qu'il ne pénètre par les vitrages. À l'inverse, avec une protection intérieure, comme des rideaux ou des stores intérieurs, le rayonnement solaire est peu réfléchi vers l'extérieur. La plus grande partie du rayonnement participe alors aux apports de chaleur dans la pièce.



Les persiennes à l'italienne protègent efficacement du soleil tout en laissant pénétrer suffisamment de lumière.

De plus, le renforcement d'isolation assuré par certaines protections solaires extérieures, comme les stores à âme isolante ou les volets en bois massif, limite la transmission de la chaleur par conduction.

Enfin, les vitrages eux-mêmes, laissent plus ou moins pénétrer le rayonnement solaire et peuvent également isoler la pièce de la chaleur extérieure.

Le choix des fenêtres

La capacité des fenêtres à s'opposer à la pénétration de la chaleur et du rayonnement solaire dépend du nombre et du type de vitrages employés et de la qualité isolante des menuiseries.

Les vitrages sont caractérisés par le **facteur solaire**, qui représente la fraction de l'énergie solaire pénétrant par le vitrage par rapport à la totalité de l'énergie solaire qui frappe celui-ci[1].

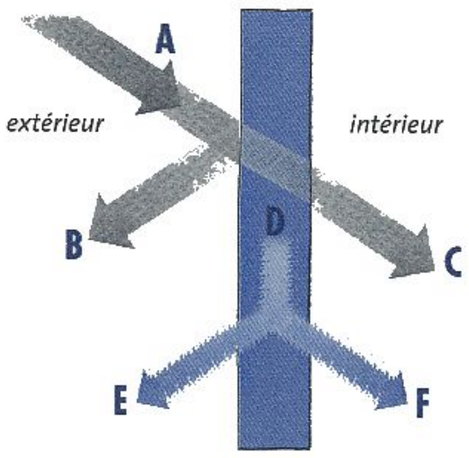
1 Cette valeur est valable pour un rayonnement solaire perpendiculaire au vitrage. L'angle d'incidence réel du rayonnement est un autre paramètre essentiel : plus l'angle est important, plus le soleil sera réfléchi sur la face extérieure du vitrage, sans pénétration (réflexion vitreuse).

Plus le facteur solaire est faible, plus le vitrage s'oppose efficacement à la pénétration du rayonnement solaire. Toutefois, cet avantage en été peut être un inconvénient en hiver, où l'on souhaite souvent capter le maximum d'ensoleillement : ainsi, comparé à un simple vitrage, un double vitrage réduit d'environ 10 % la pénétration de l'énergie solaire.

La qualité isolante du vitrage est un deuxième paramètre important. Le double vitrage antiémissivité, dit à isolation renforcée (VIR), comporte un revêtement spécial qui intercepte le rayonnement infrarouge émis par les parois et le mobilier de la pièce. Le pouvoir isolant de ce type de double vitrage se trouve ainsi nettement renforcé : il est de 20 à 30 % supérieur à celui d'un double vitrage classique pour un surcoût de plus en plus minime (10 à 15 % environ). Une autre technique consiste à remplacer l'air entre les vitrages par un gaz comme l'argon, ce qui réduit les échanges par convection. Ce type de double vitrage très isolant empêche efficacement la pénétration de la chaleur et réduit l'hiver la sensation de "paroi froide".

Enfin, la chaleur peut aussi pénétrer par conduction par les menuiseries, surtout si elles sont peu isolantes, comme les menuiseries en aluminium ou en acier. Afin d'éviter qu'elles ne se transforment en véritables radiateurs en été du fait de la conduction de chaleur, elles doivent disposer d'un joint intérieur à " rupture de pont thermique ". Comme pour l'isolation des vitrages, ce dispositif sera doublement efficace, été comme hiver.

Facteur solaire d'un vitrage vertical.



A. énergie incidente
B. énergie réfléchie
C. énergie transmise
D. énergie absorbée par le verre
E. énergie émise par le verre à l'extérieur du local
F. énergie émise par le verre à l'intérieur du local

L'énergie solaire participant directement à l'augmentation de la température d'une pièce est égale à la somme de celle qui pénètre directement par transmission (C), et de celle qui, ayant été absorbée dans le vitrage, est partiellement réémise dans la pièce sous forme de rayonnement infrarouge (F). Le facteur solaire est (C + F)/A.

Quel type de vitrage choisir ?

Si l'on tient compte du seul critère du facteur solaire, on se trouve face à deux exigences contradictoires : intercepter le rayonnement solaire l'été (facteur solaire faible), mais le laisser pénétrer le plus possible en hiver (facteur solaire élevé).

En réalité, lorsque l'on établit un bilan thermique sur l'année, la capacité isolante du vitrage s'avère fondamentale : on a toujours intérêt à poser un vitrage le plus isolant possible, qui s'opposera à l'entrée de la chaleur en été et à sa sortie en hiver.

Le meilleur choix est donc un vitrage très isolant (par exemple double vitrage à faible émissivité et à lame d'argon), même si le facteur solaire est un peu plus faible qu'avec un double vitrage classique.

Ce type de vitrage n'est pas encore assez répandu en France, mais sera le standard de demain : autant l'utiliser dès à présent tant en construction neuve qu'en rénovation.

	Coefficient d'isolation du vitrage (en W/m².K)	*Facteur solaire du vitrage*
Simple vitrage	5,10	90%
Double vitrage 4/6/4	3,60	81 %
Double vitrage 4/12/4	2,95	81 %
Double vitrage anti-émissif 4/12/4	1,80	75 %
Double vitrage anti-émissif 4/12/4 et argon	1,40	75 %

Coefficient d'isolation et facteur solaire de différents vitrages[2]. *Plus le coefficient d'isolation est élevé, moins le pouvoir isolant est bon.*

Volets, persiennes et jalousies

Les volets pleins

Ouvrir les volets était jadis, à la campagne et parfois en ville, le premier geste de la journée. En bois massif, ces volets servaient plus à protéger du froid que du soleil : les murs étaient suffisamment épais et les fenêtres suffisamment petites pour qu'une protection solaire soit inutile. Classiquement, les volets étaient du type "battant", c'est-à-dire constitués de deux parties se rabattant sur le mur, de part et d'autre de la fenêtre.

Dans les constructions modernes, on opte plus souvent pour des volets repliables, généralement métalliques, ou pour des volets roulants.

[2] *Les doubles vitrages sont caractérisés par trois chiffres correspondant aux épaisseurs (en millimètres) du premier vitrage, de la lame d'air et du second vitrage. Par exemple, un vitrage 4/10/6 est composé de deux vitrages de 4 mm et 6 mm séparés par une lame d'air de 10 mm.*

Ces derniers présentent l'avantage de pouvoir être ouverts ou fermés de l'intérieur. Certains modèles, dits "à projection", sont inclinables. Ces volets sont aujourd'hui en aluminium, en acier ou en PVC, ou bien en bois, matériau naturel et renouvelable.

Les persiennes et les jalousies

Aujourd'hui, les volets pleins ne se justifient que si la protection contre le froid est prioritaire (climat froid, volonté de réduire au minimum les dépenses en chauffage). Dans les climats à hivers doux et à étés chauds, les persiennes sont préférables. Il s'agit de volets à claire-voie, ou au moins munis d'un panneau à claire-voie, qui laissent passer l'air et une partie de la lumière. Dans les pays méditerranéens, la plupart des maisons traditionnelles en sont équipées. Les jalousies sont un type particulier de persiennes, ajourées de telle sorte que les personnes qui se trouvent à l'intérieur puissent voir ce qui se passe à l'extérieur sans être vues, d'où leur nom !

Les stores extérieurs

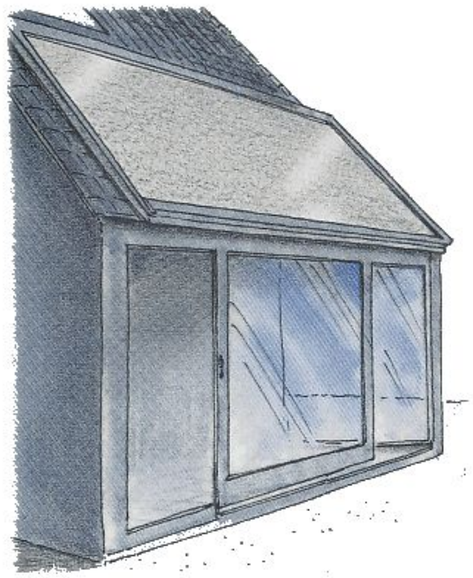
À l'inverse des volets et des persiennes, les stores sont en matériaux légers et pour la plupart escamotables, souvent par enroulement. On peut les classer en quatre familles :

Les stores à l'italienne

Inclinables et enroulables, ils sont appelés également par les professionnels stores "à projection". Les stores à l'italienne proprement dits sont inclinables en totalité ; les stores dits "à la suisse", ou markisolettes, comprennent une partie supérieure verticale et une partie inférieure inclinable. Le gros avantage des stores à l'italienne est d'intercepter efficacement le rayonnement solaire direct tout en laissant pénétrer dans la pièce une grande partie de la lumière (lumière réfléchie). Il est souhaitable, lorsqu'on pose un store, de laisser un petit espace entre sa partie supérieure et le mur afin de permettre à l'air chaud accumulé sous le store de s'échapper. Très efficaces pour les baies vitrées exposées au sud, ces stores le sont beaucoup moins pour les expositions est et ouest, car ils n'empêchent pas la pénétration des rayons du soleil lorsque celui-ci est bas sur l'horizon.

Quelle matière choisir pour les stores extérieurs ?

- Le coton est déconseillé, car il résiste mal aux ultraviolets et aux intempéries ;
- Le Dralon® est une fibre synthétique acrylique. C'est le textile le plus utilisé pour la fabrication des stores en raison de sa durabilité et de sa résistance aux ultraviolets ;
- Le PVC est également très résistant, mais son bilan écologique est médiocre : fabrication polluante, présence de phtalates (perturbateurs hormonaux), possibilités de recyclage limitées.



Les stores bannes

Inclinés et enroulables, comme les précédents, ce sont les stores des terrasses des restaurants. En habitat, ils peuvent être utilisés pour protéger toute une façade largement vitrée plutôt que chaque fenêtre individuellement. Ils conviennent surtout pour les expositions sud.

Les stores vénitiens

Avec leurs lamelles horizontales orientables, ils permettent de régler à volonté la quantité de lumière et de soleil qu'on laisse pénétrer. Ils sont le plus souvent conçus pour l'intérieur, mais on trouve également des modèles adaptés à l'extérieur, ainsi que des doubles vitrages intégrant un store vénitien entre les deux vitres. Les lamelles sont en aluminium, en acier, en matière plastique ou en bois. On trouve également des modèles à lamelles verticales, presque toujours conçus pour l'intérieur.

Les stores verticaux à enroulement

C'est l'équivalent, avec un matériau souple et léger, des volets roulants. Ils sont moins coûteux et plus faciles à manœuvrer, mais protègent moins bien du soleil que les volets. Ils n'offrent par ailleurs aucune protection contre les effractions et ne protègent guère du froid en hiver. En règle générale, plus ils laissent passer la lumière, moins ils protègent du rayonnement solaire. Les stores blancs opaques, les plus efficaces en matière de protection solaire, conviennent particulièrement bien pour les chambres à coucher.

De nombreux types de volets et de stores peuvent être actionnés par des dispositifs plus ou moins sophistiqués, depuis la simple motorisation, éventuellement par télécommande, jusqu'à l'ouverture ou la fermeture automatique en fonction de la température ou, pour les stores " à projection ", de la force du vent.

Stores intérieurs et films solaires

Les stores intérieurs

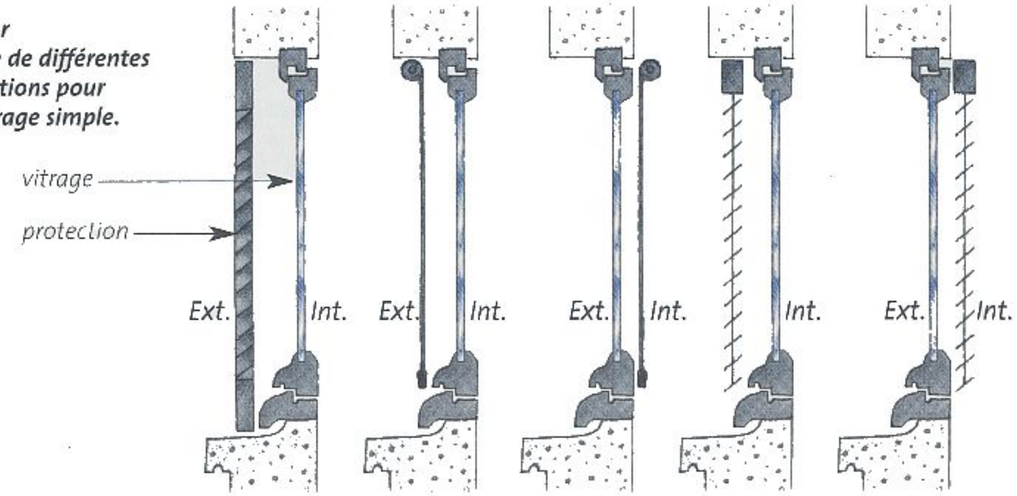
À défaut de pouvoir installer des volets ou des stores extérieurs, les stores intérieurs offrent quand même une certaine protection. On les choisira de couleur claire pour qu'ils réfléchissent au maximum le rayonnement solaire. Les plus répandus sont les stores vénitiens, mais on peut opter pour des stores plissés ou à enroulement.

Certains modèles récents de stores intérieurs, en polyester recouvert de fines particules d'aluminium, constituent des protections solaires plus efficaces que les stores vénitiens classiques, mais des stores extérieurs restent de loin préférables.

Facteur solaire (en pourcentage de l'énergie solaire incidente arrivant sur le vitrage) de différents types de protection [4]. *La protection est d'autant meilleure que le facteur solaire est plus faible. Les valeurs inférieures de chaque fourchette correspondent à des protections de couleur claire, les valeurs supérieures à des protections de couleur sombre.*

	Vitrage simple		*Double vitrage*		
	Store à l'extérieur	*Store à l'intérieur*	*Store à l'extérieur*	*Store entre les deux vitres*	*Store à l'intérieur*
Volets battants ou roulants		5 à 10 %		5 à 10 %	
Stores à lames minces (type vénitien)	10 à 15 %	45 à 75 %	5 à 10 %	30 à 45 %	45 à 80 %
Stores de toile opaques	5 à 15 %	35 à 65 %	5 à 10 %	20 à 45 %	45 à 75 %
Stores de toile légèrement transparents	15 à 25 %	35 à 65 %	10 à 20 %	25 à 45 %	40 à 75 %
Stores de toile assez transparents	20 à 30 %	40 à 70 %	15 à 25 %	30 à 50 %	40 à 75 %

Facteur solaire de différentes protections pour un vitrage simple.



Les films solaires

Il s'agit d'une nouvelle génération de protections solaires constituées, en général, d'une fine couche métallique prise en sandwich entre deux films de polyester. Ces films sont collés sur la vitre. Certains modèles sont vendus dans les magasins de bricolage et peuvent être posés par les particuliers. Ils empêchent la pénétration d'une proportion importante des infrarouges et diminuent fortement le facteur solaire des vitrages. Utilisés surtout dans le tertiaire ou pour des vérandas, ils présentent l'inconvénient de limiter fortement les apports solaires en hiver. On trouve également des films solaires pour voitures, posés par des professionnels.

Stores intérieurs, lesquels choisir ?

Les stores intérieurs sont souvent la seule protection possible lorsqu'on est locataire.

Bien choisis et correctement posés, ils peuvent empêcher la pénétration de près des deux tiers de l'énergie solaire. Ils agissent principalement en réfléchissant le rayonnement solaire vers l'extérieur, mais aussi en limitant la diffusion dans la pièce de l'air chaud qui se trouve au contact de la vitre. Pour obtenir le maximum d'efficacité, ils doivent :

- avoir une face extérieure réfléchissante de couleur claire (le blanc étant le plus efficace), éventuellement métallisée ;
- être bien tendus et maintenus près de la fenêtre au moyen d'un guide (câble ou gorge de profilés métalliques), afin d'éviter que l'air emprisonné entre le store et la fenêtre ne diffuse dans la pièce ;
- couvrir toute la surface de la fenêtre.

Leur limite d'utilisation est évidemment l'apport de lumière naturelle : les stores intérieurs les plus efficaces n'en laissent passer que très peu, ce qui est sans importance dans une chambre à coucher, mais gênant dans un séjour. Si le store à enroulement blanc reste le plus performant, les stores vénitiens assurent une protection correcte (jusqu'à 50 % du rayonnement solaire arrêté) lorsque les lames sont presque à la verticale.

Enfin, un store emprisonné entre les deux vitres d'un double vitrage est nettement plus efficace que le même store installé à l'intérieur.

Comment choisir la bonne protection

Le fait d'être en maison individuelle ou en appartement, d'être propriétaire ou locataire, de vivre en climat continental, méditerranéen ou océanique, conduira à des choix très différents. Envisageons les principaux cas :

> **Vous êtes propriétaire d'une maison individuelle** ou vous vous apprêtez à en construire une. Dans ce cas, les volets ou les persiennes s'imposent. Volets roulants ou battants ? Les premiers sont plus faciles à manœuvrer, et peuvent l'être de l'intérieur, mais on peut préférer les seconds, notamment pour des raisons esthétiques. Dans les deux cas, les volets en bois sont les plus efficaces et les plus écologiques. En climat méditerranéen, on préférera les persiennes, que l'on pourra fermer partiellement ou totalement dans la journée sans pour autant plonger la pièce dans l'obscurité. Quel que soit le climat, on pourra éventuellement poser en plus des stores à l'italienne.

> **Vous êtes copropriétaire dans un immeuble collectif**. Les solutions techniques sont les mêmes, mais vous devrez vous conformer aux règles d'urbanisme et obtenir l'autorisation des copropriétaires pour les équipements extérieurs. Faute de mieux, vous pourrez dans la plupart des cas poser des stores extérieurs verticaux à enroulement, de préférence " à projection ".

> **Vous êtes locataire**. En matière de protection extérieure, le choix est limité à la fois par le bon vouloir du propriétaire et par le coût des équipements. Si vous prévoyez une location de longue durée, la pose de stores à l'italienne, moins coûteux et plus discrets que des volets, est souvent la meilleure solution. Bien entendu, tous les équipements intérieurs restent possibles.
Dans tous les cas – et notamment en l'absence de protections extérieures – les films solaires constituent une solution intéressante pour les fenêtres orientées à l'est et à l'ouest, mal protégées par d'autres types de protections (débords de toiture, stores à l'italienne), et bénéficiant de peu d'apports solaires en hiver.

Avantages et inconvénients des différents types de protection des fenêtres.

Type de volets ou de stores	*Efficacité de la protection solaire*	*Aptitude à laisser passer la lumière*	*Pouvoir isolant en hiver*	*Protection contre l'effraction*	*Facilité de manipulation*	*Coût*
Volets pleins battants	très bonne	nulle	bon	très bonne	médiocre	moyen
Volets pleins repliables	bonne	très faible	moyen	bonne	moyenne	moyen
Volets roulants	très bonne	moyenne	bon	bonne	bonne	élevé
Persiennes	bonne	moyenne	moyen	bonne	médiocre	moyen
Stores à l'italienne et bannes	bonne (exposition sud)	bonne	nul	nulle	bonne	moyen
Stores vénitiens extérieurs	bonne	moyenne	nul	nulle	bonne	moyen
Stores extérieurs verticaux à enroulement	bonne	moyenne	nul	nulle	bonne	moyen
Stores intérieurs	médiocre	moyenne	nul	nulle	bonne	faible à moyen

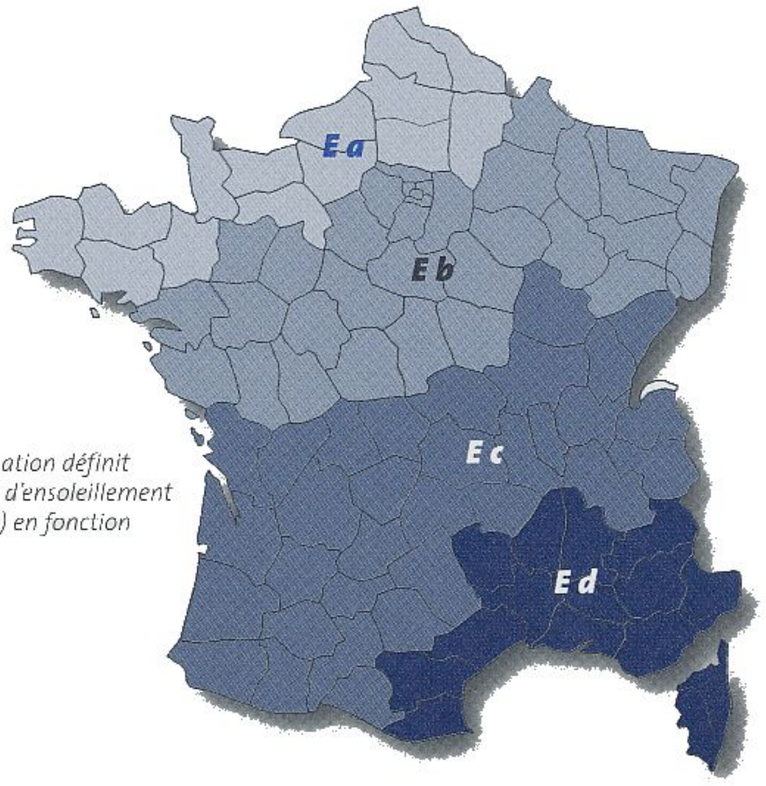
Protections solaires et réglementation thermique

Avant la dernière réglementation (RT2000), les seules exigences en matière de confort d'été étaient formulées non dans la réglementation thermique mais dans la réglementation acoustique : fenêtres fermées à cause du bruit, un logement ne devait pas dépasser 27 °C.

Aujourd'hui, pour les bâtiments non climatisés, la réglementation offre deux possibilités : ne pas dépasser une température de référence calculée selon une méthode réglementaire, ou bien vérifier que la protection de chaque baie vitrée est au moins égale à celle d'une baie de référence.

Le calcul de la température de référence nécessite des logiciels spécialisés et ne peut donc être effectué que par des professionnels.

La protection solaire des " baies de référence " tient compte de la zone climatique, de l'inertie du bâtiment, de l'exposition au bruit, ainsi que de l'orientation et de l'inclinaison. On se reportera aux règles Th-E de la Réglementation thermique 2000 pour une définition précise de ces " baies de référence ".



La réglementation définit quatre zones d'ensoleillement (Ea, Eb, Ec, Ed) en fonction du climat.

Empêcher la chaleur d'entrer

Le réchauffement estival de nos maisons n'est pas dû seulement à la pénétration du soleil par les fenêtres : même si celles-ci sont protégées du rayonnement solaire, une pièce peut se réchauffer excessivement si la chaleur extérieure pénètre progressivement par les murs, les toitures, mais aussi par les vitrages ou bien par infiltration d'air. Pour ralentir la pénétration de chaleur, il existe un remède simple gagnant l'été, mais aussi l'hiver : mieux isoler.

Même à l'abri du soleil, nos maisons se réchauffent

Isolation et chaleurs estivales

Isoler soigneusement une maison protège bien sûr du froid hivernal et limite les dépenses de chauffage. Mais une très bonne isolation a aussi une autre vertu, tout aussi appréciable : elle permet de se protéger des fortes chaleurs.

La fonction de l'isolation est de limiter le plus possible les transferts de chaleur d'un milieu à un autre. Toute isolation fonctionne en fait dans les deux sens : elle est donc aussi efficace en hiver pour limiter les déperditions de chaleur intérieure qu'en été pour limiter la pénétration de la chaleur extérieure.

Cependant, cette propriété cache un redoutable effet boomerang : si la chaleur réussit à pénétrer dans un logement fortement isolé – par exemple par des vitrages non protégés du soleil – la chaleur restera dans la pièce puisque, justement, les parois sont très bien isolées... La chaleur ainsi piégée augmentera rapidement la température intérieure. C'est pour l'avoir oublié que l'on voit certains logements modernes très isolés se transformer en été en " bouteilles Thermos ", et devenir vite invivables sans climatisation.

Pour se protéger efficacement contre les chaleurs estivales, la seule isolation ne suffit donc pas : il faut l'associer à des dispositions permettant de diminuer la température intérieure grâce à l'inertie ou à la surventilation nocturne.

Caniculaires étages

La canicule de 2003 l'a confirmé : dans les maisons de retraite, c'est aux étages supérieurs que la mortalité a été la plus élevée. De même, il a fait presque toujours plus chaud dans les maisons individuelles au premier étage qu'au rez-de-chaussée, même avec une isolation correcte.

Le manque d'isolation de la toiture explique très souvent ces surchauffes : en été, au bout de 12 à 14 heures d'ensoleillement, le rayonnement solaire qui a frappé la toiture finit par pénétrer et traverser le plafond sous forme de chaleur si l'épaisseur de l'isolation est trop faible. Le plafond émet alors un rayonnement infrarouge, exactement comme un plafond chauffant. Même très réduit, ce rayonnement peut, sur des surfaces importantes, générer en fin de journée un apport de chaleur suffisant pour créer des surchauffes inconfortables.

Niveau d'isolation et température intérieure

Qu'apporte une bonne isolation lors des chaleurs estivales ?

Isoler : nécessaire, mais pas suffisant !

Deux logements n'étant jamais strictement identiques, ni occupés exactement de la même manière, il est très difficile de mesurer *in situ* l'effet d'un isolant par rapport à un autre. Il est cependant possible d'en faire une estimation par calcul, au moyen d'un logiciel de simulation dynamique [5].

Avec de type d'outil, nous avons étudié un logement de 100 mètres carrés d'espace habitable[1], correctement vitré mais ne disposant pas de protection solaire particulière, et construit en matériaux de construction courants.

Pour un climat estival chaud comme celui de Carpentras (Vaucluse), des simulations ont été effectuées pour différents niveaux d'isolation :

	Vitrage	*Épaisseur de polystyrène dans les murs*	*Épaisseur de laine de verre en toiture*	*Température estivale intérieure maximale*	*Consommation d'énergie pour le chauffage en hiver*
Isolation très faible	Simple vitrage	3 cm	3 cm	36,2 °C	17 200 kWh
Isolation faible	Simple vitrage	4 cm	7 cm	33,3 °C	13 750 kWh
Isolation moyenne	Double vitrage	7 cm	14 cm	32,0 °C	11 050 kWh
Isolation forte	Double vitrage anti-émissif	10 cm	20 cm	31,5 °C	9 750 kWh

Les résultats sont très significatifs : un renforcement de l'isolation est toujours doublement bénéfique, été comme hiver, en diminuant très nettement les températures maximales estivales et les consommations d'énergie en hiver. Comparée à une très faible isolation, une forte isolation permet d'atténuer les températures estivales de près de 5 °C, et de diviser par deux la facture de chauffage !

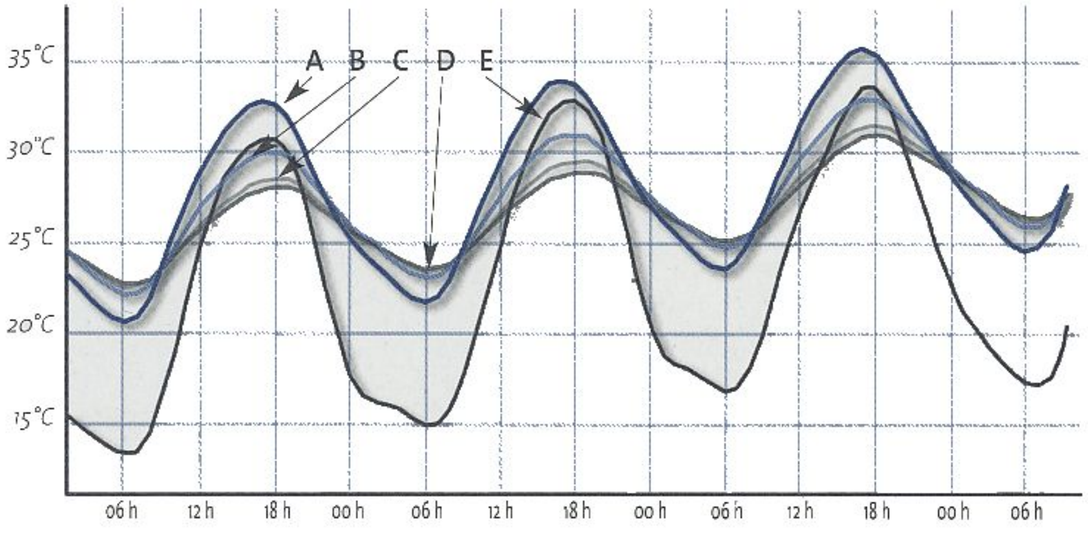
Cependant, l'isolation, même très renforcée, ne peut à elle seule apporter la fraîcheur nécessaire lors des grosses chaleurs estivales : pour la maison étudiée, la température maximale intérieure est de 31,5 °C, soit 4,5 °C supérieure au seuil d'inconfort.

[1] *Caractéristiques de cette habitation : surface 10 m x 10 m à deux façades sud et nord, et deux pignons est et ouest. Deux pans de toiture à 30 % de pente, orientés sud et nord. 4 m2 de vitrage au sud et au nord, 2 m2 à l'est et à l'ouest. Hauteur minimale sous plafond : 2,50 m.*

Malgré l'isolation, la chaleur pénètre, ne serait-ce qu'à cause du renouvellement de l'air intérieur : si la chaleur entrante ne peut être stockée, la température interne devient rapidement insupportable, obligeant les occupants à recourir à la climatisation.

Pour lutter efficacement contre la surchauffe estivale, l'isolation est donc une condition nécessaire, mais pas suffisante : elle n'est réellement efficace que si au moins une partie des parois (murs, cloisons, sol, plafond) a une masse thermique conséquente, et si la ventilation permet de profiter la nuit de la fraîcheur extérieure.

Variation des températures intérieures en fonction du niveau d'isolation, au cours de trois journées estivales, du 12 au 15 juillet, pour une année type à Carpentras.



Courbe A : isolation très faible
Courbe B : isolation faible
Courbe C : isolation moyenne
Courbe D : isolation forte
Courbe E : température extérieure

Empêcher l'air chaud d'entrer

Pour barrer la route à l'air chaud provenant de l'extérieur, la première chose qui vient naturellement à l'esprit est de fermer les fenêtres aux heures les plus chaudes, c'est-à-dire entre le milieu de la matinée et la fin de l'après-midi.

Le renouvellement de l'air peut être considérablement réduit sans inconvénient pendant ces quelques heures, surtout si on évite durant ce laps de temps les activités productrices de vapeur d'eau, comme la cuisine, ou de produits polluants, comme souvent le bricolage.

Toutefois, fermer les fenêtres n'aura qu'une efficacité limitée si elles ne sont pas protégées du rayonnement solaire direct (volets ou stores) et si l'air chaud peut pénétrer sans difficulté par les interstices de portes et de fenêtres qui ferment mal. Ces dernières doivent donc être étanches, en été comme en hiver.

Isoler la toiture

Généralement impossibles à protéger directement du rayonnement solaire et souvent de couleur sombre, les toitures sont de redoutables accumulateurs de chaleur, dont elles restituent une bonne partie dans les combles et, de là, dans le logement à travers le plafond.

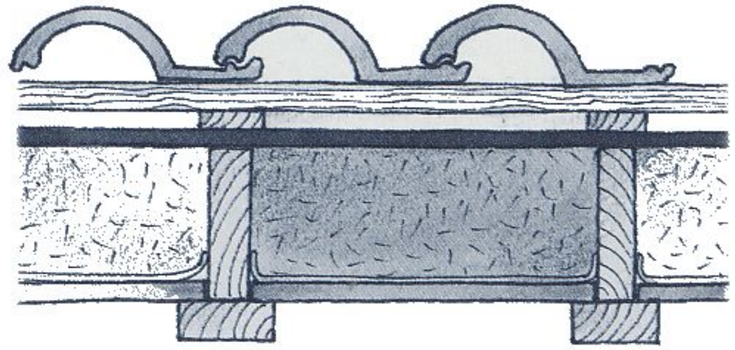
Si le grenier est occupé, même occasionnellement, une excellente isolation de la toiture elle-même est impérative pour éviter qu'il ne devienne rapidement une fournaise.

L'épaisseur de l'isolant doit représenter au moins 20 cm d'équivalent laine de verre, soit une résistance thermique de 5. En zone méditerranéenne fortement ensoleillée, il est conseillé d'augmenter encore cette valeur à 6. L'isolation par dessus est toujours préférable, car elle permet d'utiliser plus facilement des matériaux en vrac, et elle limite les risques de ponts thermiques. De nombreux matériaux peuvent être utilisés, tels que perlite, liège expansé, laine de mouton, laine de cellulose, chanvre, paille, etc. En rénovation, si l'on ne veut pas déposer la couverture, l'isolation par dessous reste possible. On pourra utiliser des panneaux ou des rouleaux isolants (laine de lin, de chanvre, de mouton, etc.) ou insuffler de lalaine de cellulose dans des caissons.

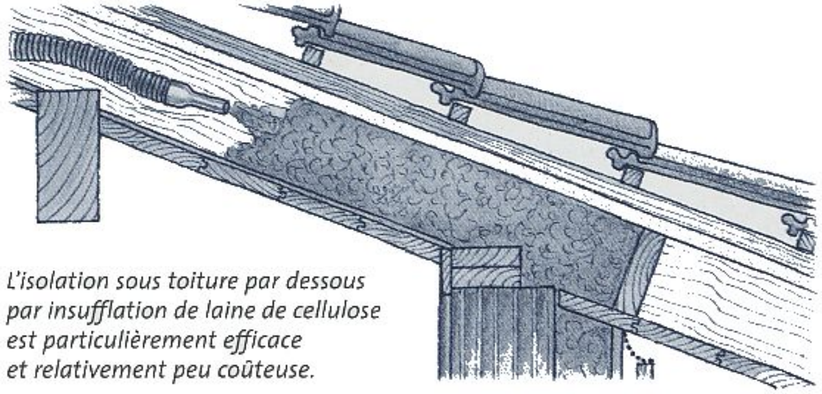
Les isolants minces

Une nouvelle famille d'isolants, les isolants minces, a fait son apparition sur le marché depuis quelques années. D'une épaisseur de 10 à 30 mm, ils sont en général constitués de couches multiples de mousse de polyéthylène ou de polypropylène recouvertes d'aluminium sur les deux faces. L'aluminium réfléchit vers l'extérieur le rayonnement infrarouge provenant des tuiles – ou autres matériaux de couverture – surchauffées par le soleil.

À défaut d'une isolation classique, ces matériaux présentent l'avantage d'être peu coûteux et faciles à mettre en œuvre[2]. Ils peuvent être employés pour des greniers utilisés comme espaces de rangement, à condition que le plancher du grenier soit lui-même isolé. Mais une isolation classique, si possible avec un isolant écologique, reste la meilleure solution.



L'isolation par-dessus entre chevrons permet d'utiliser des matériaux en vrac.



L'isolation sous toiture par dessous par insufflation de laine de cellulose est particulièrement efficace et relativement peu coûteuse.

Isoler un grenier et des combles inoccupés

Dans le cas de combles perdus, il suffit de poser l'isolant – en vrac, en rouleaux ou en panneaux – sur ou entre les solives du plancher, ou sur la dalle. L'isolation en vrac est la solution la plus économique et la plus efficace. Pour éviter qu'une partie du vrac ne soit déplacée sous l'effet des courants d'air, on pourra, selon le matériau choisi, stabiliser l'isolant en

Isoler soi-même un grenier

L'isolation du plancher est beaucoup plus économique et plus facile à réaliser par un particulier que celle de la toiture. Dans le cas d'un grenier praticable, on isole en général entre les solives, après avoir déposé le plancher, que l'on remet en place après coup. Il peut être utile, pour augmenter l'espace entre le plafond de l'étage inférieur et le plancher du grenier, de poser des lambourdes sur les solives avant de reposer le plancher. La meilleure solution consiste à utiliser un isolant en vrac, moins coûteux que les isolants en rouleaux et qui limite la création de ponts thermiques. On peut aussi poser une chape constituée d'un mélange de chanvre et de chaux.

[2] *Il faut prendre avec beaucoup de prudence les performances annoncées par les fabricants en l'absence de mesures par un laboratoire officiel ou indépendant.*

pulvérisant un peu de chaux en surface, ou encore le recouvrir d'un plastique, voire d'une feuille d'aluminium au pouvoir réfléchissant élevé.

En complément de l'isolation, une bonne ventilation nocturne du grenier est indispensable. Elle pourra être naturelle ou mécanique. Plusieurs techniques sont possibles :

- si le grenier dispose d'ouvertures permettant de créer un courant d'air, la ventilation naturelle est suffisante ;
- dans le cas contraire, on prévoira une ventilation mécanique ou une ventilation faîtière. On trouve dans le commerce des ventilateurs solaires qui se prêtent particulièrement bien à la ventilation estivale d'un grenier.

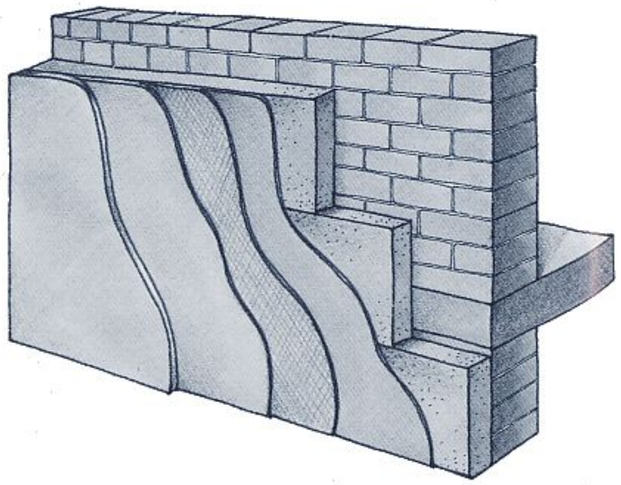
Isoler les murs

Les murs sont, avec la toiture et les fenêtres, la troisième surface principale de pénétration de la chaleur dans nos maisons et nos appartements. Leur isolation est donc souvent essentielle pour se protéger de la chaleur comme du froid.

Dans la plupart des cas, il est préférable d'isoler par l'extérieur pour bénéficier de l'inertie thermique, notion importante détaillée au chapitre suivant.

Si, pour des raisons techniques ou économiques, l'isolation par l'intérieur est la seule possible, on pourra compenser en partie la perte d'inertie en utilisant pour masquer l'isolant des matériaux de doublage à moyenne ou forte inertie thermique (briques plâtrières, carreaux de plâtre ou, mieux encore, briques de terre crue), de préférence aux classiques plaques de plâtre.

Avec la plupart des isolants, un autre inconvénient de l'isolation par l'intérieur est que les murs ne peuvent plus jouer le rôle de régulateur de l'hygrométrie de l'air intérieur. À condition qu'ils soient constitués d'un matériau capable d'absorber la vapeur d'eau (brique, terre crue, pierre, bois), les murs sont en effet capables de stocker l'excès d'humidité de l'air et de le restituer lorsque l'air est trop sec.



En rénovation, la pose de panneaux isolants spécialement conçus pour l'isolation extérieure est souvent une bonne solution.

Isoler le sol

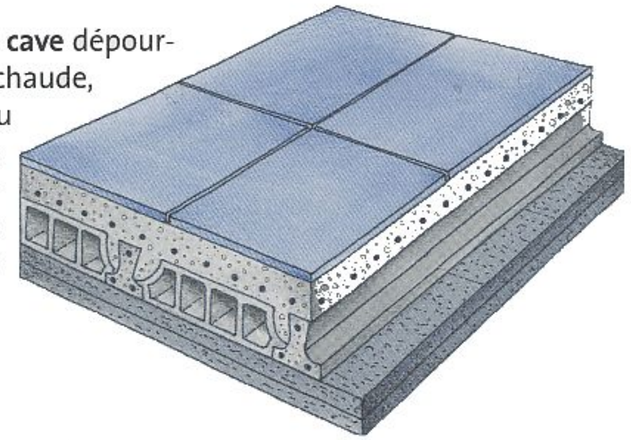
Trois cas existent :

> les **planchers sur terre-plein**, pour lesquels la dalle est coulée directement sur le sol ou sur un hérisson (couche de cailloux) reposant sur le sol, les planchers sur vide sanitaire et les planchers sur sous-sol non chauffé (cave, garage).

> pour les **planchers sur terre-plein,** il est préférable, du moins pour le confort d'été, de ne pas isoler, car on profite de la fraîcheur du sol. Une exception toutefois : dans le cas d'un plancher chauffant ou rafraîchissant, il est impératif d'isoler sous la dalle qui comprend le réseau de tuyaux assurant le chauffage et le rafraîchissement.

> avec un **plancher sur vide sanitaire**, il est impératif de bien isoler, pour l'été comme pour l'hiver.

> si enfin le **plancher donne sur une cave** dépourvue de sources de chaleur (ballon d'eau chaude, chaudière assurant la production d'eau chaude, etc.), il est préférable, pour le confort d'été, de ne pas isoler. En revanche, si des sources de chaleur se trouvent à la cave, il vaut mieux isoler, ce qui peut se faire sur ou sous la dalle.



Si l'on souhaite isoler le sol d'un rez-de-chaussée au-dessus d'un sous-sol non chauffé,on le fera de préférence par-dessous pour conserver le bénéfice de l'inertie de la dalle.

Les isolants écologiques

Laine de verre, laine de roche, mousse de polyuréthane, polystyrène expansé sont les " quatre grands " de l'isolation classique.

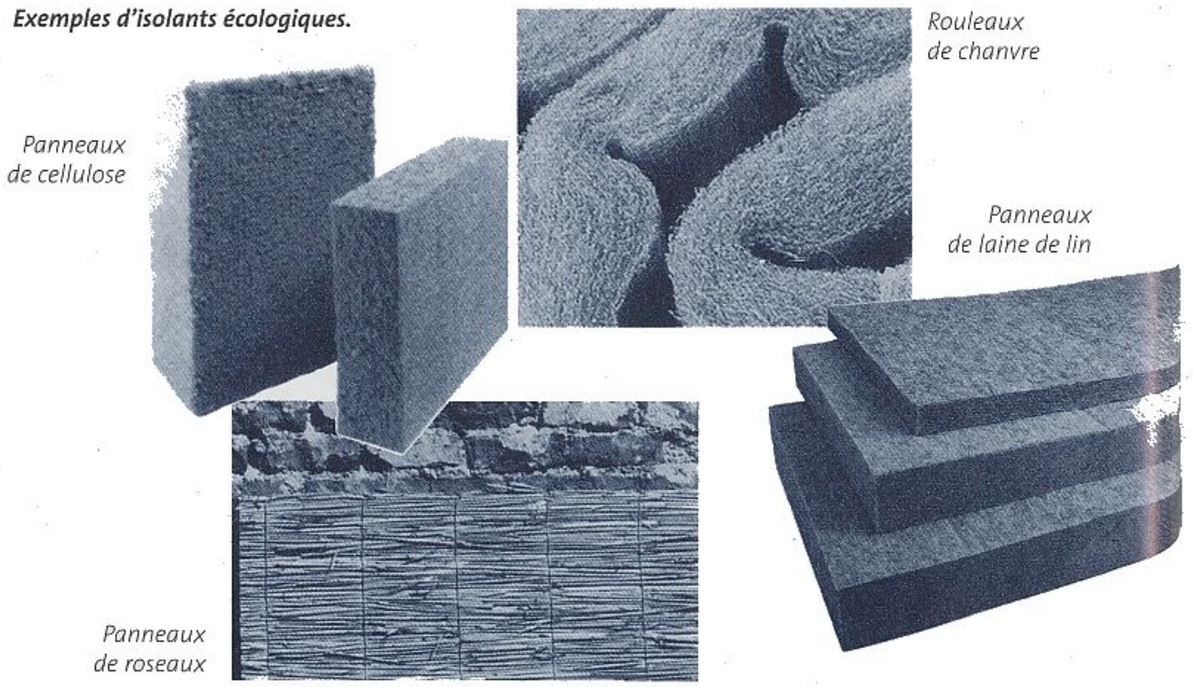
Mais l'émergence de la construction écologique, ainsi que les inconvénients pour l'environnement et pour la santé de ces " quatre grands ", ont suscité l'apparition de nouveaux isolants, tous d'origine naturelle et en majorité d'origine végétale. À ce jour, seuls deux d'entre eux – le chanvre et la laine de cellulose – ont pris une place significative, même si elle est encore très minoritaire, sur le marché.

Leur principal inconvénient est leur prix, sensiblement plus élevé que celui des isolants traditionnels. Mais au fur et à mesure que les quantités fabriquées augmentent, la différence de prix entre les deux familles d'isolants diminue.

Les principaux isolants écologiques.

Isolant	*Conductivité thermique (lambda) en W/m.°C*	*Origine*	*Présentation*	*Principales utilisations*
Laine de cellulose	0,035 à 0,040	Papier journal	Vrac ou panneaux	Toitures, sols, murs
Liège expansé	0,036	Écorce du chêne-liège	Vrac ou panneaux	Toitures, sols, murs
Laine de lin	0,037	Lin	Vrac, panneaux ou rouleaux	Toitures, sols, murs
Chanvre	0,039 à 0,048	Chanvre	Vrac, rouleaux ou panneaux	Toitures, sols, murs
Laine de mouton	0,035 à 0,045	Mouton	Vrac, rouleaux ou panneaux	Toitures, sols, murs
Paille		Céréales	Vrac ou bottes	Toitures, sols, murs
Bois feutré	0,042 à 0,070	Déchets de bois	Panneaux	Toitures, sols
Roseaux	0,056	Roseaux	Panneaux	Toitures, murs
Perlite et vermiculite	0,045 à 0,050	Roche volcanique	Vrac	Sols, toitures-terrasses
Argile expansée	0,10	Argile	Vrac	Sols
Verre cellulaire	0,035 à 0,048	Verre	Vrac ou panneaux	Sols, toitures-terrasses, murs enterrés

Exemples d'isolants écologiques.



Le rôle de l'inertie

Inertie thermique et confort d'été

Quand l'inertie n'est pas un vilain défaut

Parler d'inertie, c'est évoquer une lenteur ou une difficulté à changer. Caractéristique indésirable lorsqu'un changement rapide est souhaité, l'inertie peut cependant devenir une qualité précieuse lorsqu'il s'agit de chauffage ou de rafraîchissement.

Nous sommes toujours étonnés par la fraîcheur estivale des maisons anciennes, aux épais murs de pierre. Il est vrai que leurs fenêtres sont en général petites, ce qui limite la pénétration du soleil par les ouvertures. Mais leur très bon confort d'été s'explique principalement par leur **inertie thermique** élevée, qui résulte à la fois de l'épaisseur et des propriétés du matériau " pierre ".

De quoi s'agit-il ?

Imaginons qu'il soit possible, au cours d'une chaude journée estivale, de stocker au moyen d'un appareil approprié une grande partie de la chaleur en excès, qu'elle provienne de l'air extérieur pénétrant dans un logement, du soleil entrant par des vitrages ou des sources de chaleur internes.

Ainsi stockée, cette chaleur ne participe pas à l'augmentation de la température de l'air intérieur et des parois : elle est en quelque sorte " mise en réserve " par notre appareil.

Elle peut même être déstockée un peu plus tard, par exemple en fin de journée, lorsque le soleil est couché et que l'air extérieur s'est rafraîchi. Certes, la chaleur qui était contenue dans l'appareil réchauffe alors l'air ambiant et les parois, mais elle est diffusée à un moment où cet apport est moins désagréable qu'en pleine journée et où il peut être compensé par l'entrée d'air extérieur plus frais.

Grâce à notre appareil, la température intérieure s'élève moins pendant la journée, améliorant le confort d'été. Le logement réagit ainsi plus lentement à un changement de température : son inertie thermique est plus élevée.

Cet appareil à stocker et amortir la chaleur peut être remplacé très simplement par des matériaux de construction qui jouent précisément ce rôle, s'ils respectent trois conditions :

- n'être pas trop isolant pour que la chaleur à stocker puisse pénétrer dans le matériau ;
- avoir une bonne capacité à accumuler la chaleur ;
- avoir une densité élevée pour stocker la chaleur dans une épaisseur de paroi minimal.

En d'autres termes, ces matériaux doivent avoir une conductivité pas trop faible, une bonne capacité thermique et une forte masse volumique. Le produit de ces trois facteurs s'appelle l'**effusivité**[1]. Plus cette valeur est grande, et plus la capacité du matériau à stocker de la chaleur est forte, c'est-à-dire plus son inertie est élevée.

Pourquoi le marbre est–il toujours froid ?

Supposons que, dans une pièce à 20 °C, nous touchions de la main gauche un objet en marbre (par exemple une tablette de cheminée) et de la main droite un meuble en bois (le dossier d'une chaise, par exemple).

Ces deux objets se trouvant depuis longtemps dans la même pièce, ils ont, avant qu'on ne les touche, la même température. Aucun appareil de chauffage n'étant caché à l'intérieur du fauteuil, ni aucune machine frigorifique dans le marbre, nous devrions donc éprouver la même sensation. Or, le marbre nous semble naturellement " froid " et le bois plus " chaud ".

L'explication est la suivante : la zone de contact entre deux corps est portée à une température intermédiaire qui dépend de leur température initiale, mais aussi de leur capacité à transférer la chaleur au cours du contact.

Le marbre à 20 °C, ayant une effusivité élevée, absorbe fortement la chaleur de notre peau, dont la température est d'environ 33 °C ; la température de contact s'établit alors à 25 °C environ. Inversement, le bois ayant une plus faible effusivité, il absorbe moins de chaleur et la température de contact s'élève à 29 °C.

Le marbre n'est donc pas plus froid que le bois : il " pompe " simplement mieux la chaleur de la main, et la température à la surface de contact est effectivement plus basse.

Ce qui est vrai pour la peau l'est aussi avec les matériaux qui constituent les parois des pièces : des murs en marbre stockent facilement la chaleur ambiante, les parois sont plus fraîches et la température maximale de la pièce plus basse qu'avec des matériaux moins inertiels.

Inutile cependant d'habiter un palais en marbre pour lutter contre la canicule : des matériaux lourds moins onéreux ont aussi une forte effusivité !

[1] *L'effusivité est précisément la racine carrée du produit de la conductivité, de la chaleur spécifique et de la masse volumique.*

L'inertie de différents matériaux de construction

Les matériaux de construction courants qui ont la plus grande inertie (et donc la plus forte effusivité) sont la pierre, le béton, la terre crue et la brique pleine.

Mais construire en pierre est devenu inabordable, et le béton présente de nombreux inconvénients – étanchéité à la vapeur d'eau, production polluante, recyclage difficile – qui limitent son utilisation pour des constructions à faible impact environnemental ; il reste néanmoins employé pour les fondations et, éventuellement, les dalles. Quant à la terre crue, sous forme de briques compressées ou de pisé, sa mise en œuvre est coûteuse. Ajoutons qu'un mur en briques pleines n'a une bonne inertie que s'il est suffisamment épais, une condition généralement rédhibitoire.

Un deuxième groupe de matériaux présente une inertie moyenne : le plâtre, le béton cellulaire (de type Siporex ®) et la brique isolante alvéolaire de grande épais-

Inertie des principaux matériaux de construction [6].

	Capacité thermique en Wh/m³.°C *(quantité d'énergie devant être emmagasinée dans 1 m³ de matériau pour augmenter sa température de 1 °C)*	Vitesse de transfert *(épaisseur du matériau traversée en 1 heure par l'onde de chaleur)*	Effusivité en W.h^{0,5}/m².°C *(aptitude à favoriser l'inertie)*
Béton	600	4,1	32,3
Pierre lourde (type granite)	505	5,8	39,0
Pierre calcaire	490	5,3	34,3
Brique de terre cuite	455	3,8	22,9
Parpaings (moyenne)	450	4,1	24,0
Bois dur (chêne, hêtre)	435	1,7	10,0
Brique de terre crue	425	2,4	21,6
Bois tendre (peuplier, résineux)	300	1,5	6,0
Plâtre	270	2,7	9,7
Béton cellulaire (moyenne)	150	3,1	6,0
Polystyrène	6,9	5,8	0,5
Laine minérale	3,5	8,1	0,4

seur (ou brique monomur). Ces matériaux constituent un bon compromis entre inertie, isolation et prix de revient. Ils ne nécessitent pas d'isolation supplémentaire s'ils sont utilisés en large épaisseur ; on parle alors de matériaux à isolation répartie.

Le bois massif lourd (densité > 500 kW/m³), assez bon isolant et doté d'une inertie moyenne, est une solution intéressante, mais l'épaisseur nécessaire devient un facteur limitant.

Inertie, monomur et ossature bois

Dans le cas d'un logement occupé de façon permanente, une bonne inertie est indispensable pour permettre un confort d'été sans climatisation. Parmi les matériaux modernes, le plus performant est la brique dite " monomur ", large brique de terre cuite aux multiples alvéoles, qui permet de réaliser des murs à la fois porteurs et isolants. L'enquête menée par Terre Vivante (voir pp. 28-29) a montré que, dans les maisons construites avec ce matériau, la température n'a jamais dépassé 28 °C même au plus fort de la canicule de l'été 2003.
Dans les maisons à ossature bois – excellente solution d'un point de vue écologique –, l'inertie des murs est beaucoup plus faible. Il faut compenser ce handicap par des sols et des cloisons réalisées avec des matériaux à forte inertie : dalle en béton et sol minéral (carrelages, tomettes, etc.) au rez-de-chaussée, murs de refend lourds en briques ou, mieux encore, en terre crue. La présence d'un poêle de masse (version moderne du poêle en faïence alsacien) contribuera à augmenter notablement l'inertie de la maison. On peut d'autre part renforcer celle des murs en utilisant, pour le remplissage de l'ossature, un matériau ayant une certaine inertie (briques en chanvre et chaux de forte épaisseur, briques de terre cuite ou de terre crue).

Voyage au cœur d'une paroi

Que se passe-t-il tout au long de la journée dans un mur en contact avec l'extérieur ?

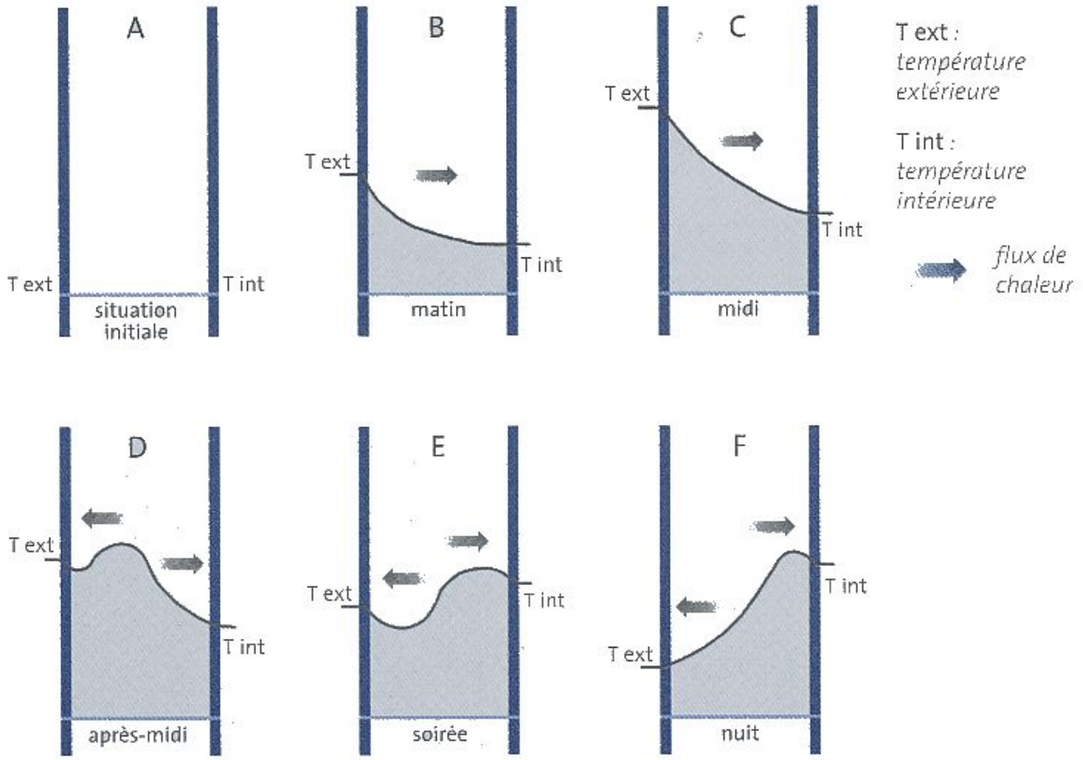
La température en tous points du mur dépend de multiples facteurs. Pour simplifier, supposons que le mur soit homogène et qu'à l'origine la température soit la même partout : à l'extérieur, dans le mur, et à l'intérieur (A).

Le matin (B), la température extérieure s'accroît, et un transfert de chaleur débute depuis l'extérieur vers l'intérieur du mur. La température de la face extérieure s'élève, et une onde de chaleur traverse progressivement le mur, qui stocke ainsi la chaleur. Un peu après midi (C), la température de la face extérieure est à son maximum, tandis que la température de la face intérieure s'élève. Le flux de chaleur se dirige toujours vers l'intérieur : le mur continue d'accumuler de la chaleur.

Lorsque la température extérieure commence à baisser au cours de l'après-midi (D), la face extérieure du mur devient un peu moins chaude : c'est à l'intérieur du mur que la température est la plus élevée. Le flux de chaleur ne se dirige plus dans un seul sens, mais du point interne le plus chaud vers les deux faces du mur. Du côté extérieur, c'est ce " retour " de chaleur qui explique qu'un mur ensoleillé reste longtemps plus chaud que l'air extérieur en fin de journée.

En soirée et durant la nuit (E et F), le flux continue à diffuser avec retard de la chaleur vers l'intérieur.

Évolution de la température dans un mur donnant sur l'extérieur au cours d'un jour complet [7].



Si l'**effusivité** exprime la capacité du matériau à absorber ou à restituer de la chaleur, la **diffusivité** reflète la vitesse de propagation d'un flux de chaleur dans un matériau.
Un élément de construction isolant, assez lourd et possédant une forte capacité thermique a une faible diffusivité. C'est le cas du bois massif, du béton cellulaire ou d'une brique monomur : un flux de chaleur met longtemps à traverser un mur constitué de tels matériaux.
Par exemple, dans le cas de la terre crue, la vitesse moyenne de transfert de la chaleur est de 2,4 cm par heure : en d'autres termes, avec un mur en terre crue de 24 cm d'épaisseur, il faudra 10 heures pour que le maximum de l'onde de chaleur reçue sur sa face extérieure atteigne sa face intérieure.
Cet effet retard peut être mis à profit pour, la nuit, faciliter l'évacuation de la chaleur qui continue à pénétrer par le mur.

Une isolation mal située peut annuler les effets bénéfiques de l'inertie

Inertie et isolation

Reprenons le cas type examiné au chapitre précédent (une maison individuelle de 100 mètres carrés, pas de ventilation nocturne forte). La comparaison par simulation dynamique de plusieurs types de murs verticaux caractérisés par des inerties très différentes mais disposant du même pouvoir isolant donne les résultats suivants :

Paroi verticale, le pouvoir isolant étant le même dans tous les cas (Résistance = 2)	Masse surfacique utile (poids au m²) en kg/m²	Température maximale calculée [8]	% de temps d'inconfort[2]
Inertie thermique faible ou nulle et isolation par l'intérieur			
a Enduit plâtre + isolation polystyrène de 7 cm située à l'intérieur + parpaing de 20 cm	11	32,4 °C	13 %
b Enduit plâtre + brique creuse de 5 cm + isolation à l'intérieur + brique pleine	56	30,9 °C	8 %
Inertie thermique moyenne et isolation répartie dans la masse			
c Béton cellulaire de 32,4 cm d'épaisseur	130	31,3 °C	9 %
d Monomur de 30 cm d'épaisseur	229	31,0 °C	8 %
Inertie thermique faible et isolation à l'extérieur			
e Bois lourd 12 cm + isolation par l'extérieur en laine de roche	89	30,6 °C	7 %
Inertie thermique forte et isolation par l'extérieur			
f Parpaing de 20 cm + isolation polystyrène de 7 cm située à l'extérieur	271	30,5 °C	7 %
g Béton lourd de 20 cm + isolation polystyrène de 7 cm située à l'extérieur	471	29,8 °C	5 %
h Mur plein en terre de 30 cm + isolation par l'extérieur	602	29,6 °C	4 %
i Mur plein en calcaire de 50 cm + isolation par l'extérieur	1223	29,3 °C	2 %

[2] Ce pourcentage correspond à la durée pendant laquelle la température intérieure est égale ou supérieure à 29 °C, entre le 1er juin et le 30 septembre.

Lorsque l'isolant est placé à l'intérieur (a et b), les températures maximales sont les plus élevées, et l'inconfort est important. Si l'isolant est à l'extérieur, l'inconfort reste important avec une paroi interne à inertie moyenne (e et f). Une inertie répartie dans la masse (c et d) a un effet similaire. En revanche, une forte inertie (g, h et i) permet de limiter la température maximale.

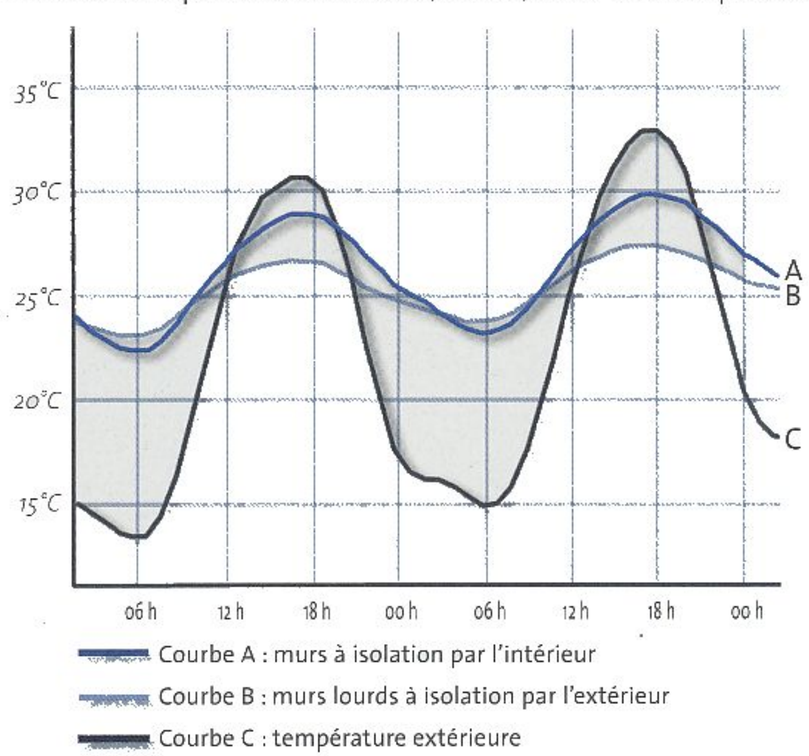
Les résultats montrent clairement que l'inertie joue en été un rôle très bénéfique pour amortir les variations de température estivales et atténuer les températures les plus extrêmes : dans cet exemple, le moment d'inconfort dure 3 à 6 fois moins longtemps quand l'inertie est élevée, **même en l'absence de forte ventilation nocturne**.

Cette propriété n'est cependant efficace que si la paroi à forte inertie est située côté intérieur, afin que les échanges thermiques par convection et par rayonnement puissent favoriser son rôle amortisseur. Si un isolant est placé entre la pièce et la paroi, ce rôle sera considérablement réduit, voire totalement annulé.

Or, en France, contrairement à ce qui se pratique dans d'autres pays comme l'Allemagne, l'isolation des parois verticales est le plus souvent placée à l'intérieur.

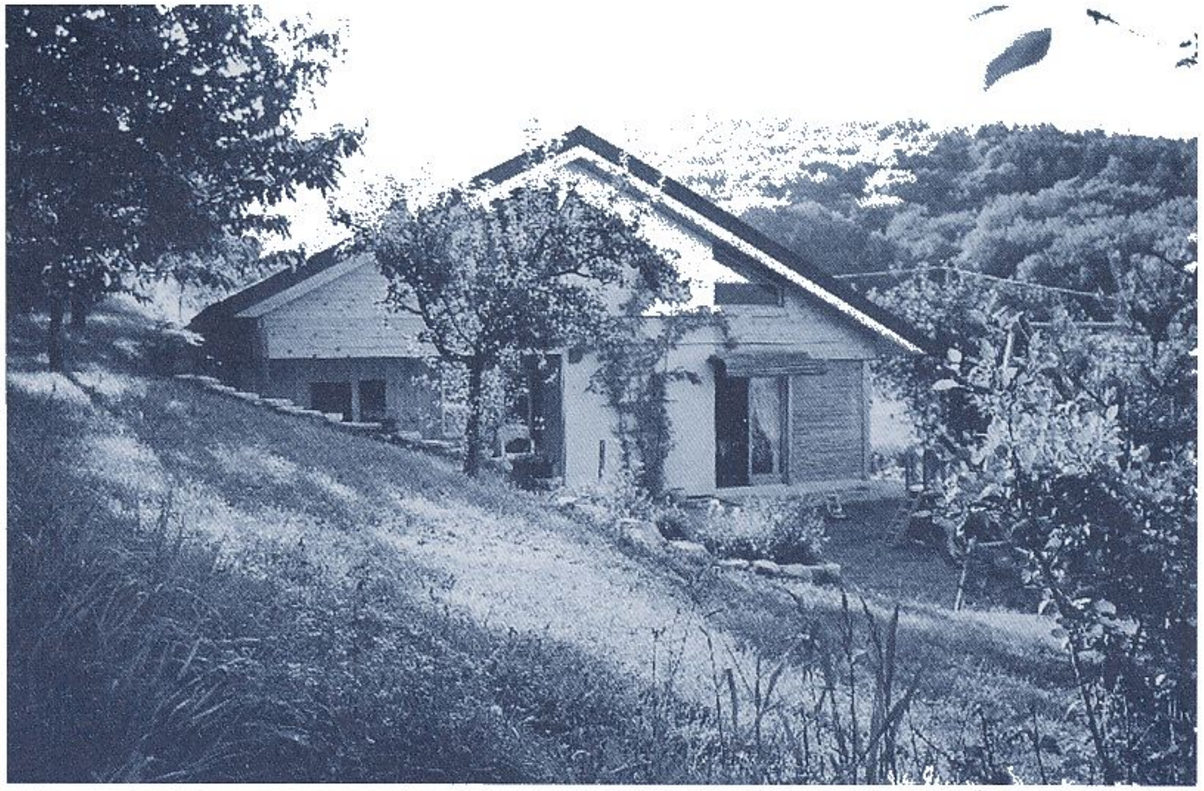
Dans ce cas, les murs verticaux n'ont pratiquement plus aucun rôle inertiel. Pour peu que les cloisons intérieures soient légères et que le plafond n'ait pas non plus de masse (faux-plafond par exemple), les seules parois ayant un peu d'inertie sont les planchers.

En pratique, et même en l'absence de ventilation nocturne importante, une forte inertie permet d'abaisser de 2 à 3 °C la température maximale des pièces d'habitation par rapport à celle d'une maison à très faible inertie. Cela peut paraître négligeable, mais c'est ce qui fait la différence, en été, entre une température qui reste agréable (26 à 27 °C) et une température franchement inconfortable, supérieure à 30 °C.



Sur ces deux jours en été (du 12 au 14 juillet), une inertie forte (B) permet de réduire nettement les températures maximales.

Quatre règles simples pour utiliser l'inertie



Dans une maison semi-enterrée, les murs en contact avec la terre profitent de l'inertie de cette dernière.

Si l'on en a la possibilité lors de la conception d'un projet ou d'une rénovation importante, quelques règles simples permettent de choisir au mieux les masses thermiques :

> Placer en priorité des parois à forte inertie sur les faces exposées au rayonnement solaire direct : le rayonnement solaire excédentaire sera ainsi directement absorbé par la masse thermique.

> Privilégier les parois intérieures lourdes (murs de refend, planchers intermédiaires) : celles-ci sont en effet deux fois plus efficaces qu'une paroi extérieure de même masse, car les deux faces échangent avec l'ambiance intérieure.

> Veiller à ce qu'au moins 50 % de la surface des parois d'une pièce soit à forte inertie (par exemple, un plancher et deux parois verticales, ou le plancher et le plafond).

> Il est inutile de mettre trop d'inertie dans les pièces chauffées irrégulièrement (buanderie, stockage) et dont l'occupation n'est pas permanente.

Les apports de chaleur internes

Tout finit en chaleur

Les coupables logent peut-être à la maison…

Assez souvent, l'origine de nos surchauffes estivales se trouve là où on ne l'attend pas : à l'intérieur des locaux, directement au cœur de nos maisons et de nos lieux de travail.

Une cuisinière, bien sûr, mais aussi une lampe, une télévision, un ordinateur transforment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur. Il en est de même pour tous nos appareils, y compris ceux qui produisent du froid ! Et nous y contribuons nous-mêmes, à raison de plus de 3 kilowattheures (kWh) par jour.

En matière d'énergie, tout finit en effet par se dégrader en chaleur, et seule une très faible part de l'énergie produite dans la maison ne participe pas au réchauffement : par exemple, la lumière visible qui ressort par un vitrage, la chaleur de la cuisinière évacuée par une hotte d'extraction, ou bien l'eau encore chaude d'une baignoire vidée avant qu'elle ne refroidisse ! Ces pertes de chaleur vers l'extérieur sont marginales. Et c'est bien la quasi-totalité de l'énergie consommée dans un bâtiment qui est transformée en chaleur.

Or, toutes ces sources internes d'augmentation de la température sont d'autant plus redoutables qu'elles passent souvent inaperçues et que nos bâtiments, aujourd'hui, sont mieux isolés et moins ventilés.

Quantité de chaleur dissipée par une personne.

	Puissance dissipée en watts (W)	*Apport de chaleur sur une journée entière (24 h) en kilowattheures (kWh)*
Enfant	80 W	2 kWh
Adulte au repos	80 à 120 W	2 à 3 kWh
Adulte avec une activité physique normale	120 W à 250 W	variable selon activité

L'éclairage produit de la chaleur

La chaleur dissipée par nos appareils d'éclairage est souvent importante : une lampe halogène de 500 W utilisée durant 4 heures en soirée crée un apport supplémentaire de chaleur de 2 kWh, soit la quantité de chaleur apportée par le soleil pénétrant la journée entière à travers 1 mètre carré de vitrage orienté plein sud, en juillet [1] !

Une lampe halogène de 500 W ne convertit que 6 % de l'énergie électrique qu'elle consomme en énergie lumineuse : les 94 % restants sont directement " perdus " sous forme de chaleur. Mais ce n'est pas tout : en atteignant les objets environnants, la lumière elle-même, sous forme d'ondes électromagnétiques, est en partie réfléchie et en partie absorbée par ces objets. La part de lumière absorbée est alors convertie en chaleur, et la part réfléchie poursuit son chemin jusqu'à un nouvel objet. De nouveau, une partie du rayonnement est alors convertie en chaleur. Au bout de quelques réflexions, la totalité des 6 % d'énergie lumineuse émis par la lampe est transformée en chaleur : c'est donc bien 100 % de l'énergie fournie qui est finalement dissipée sous forme de chaleur dans la pièce où la lampe est utilisée, soit 500 W pour une lampe halogène de cette puissance.

Lorsqu'un bureau doit être éclairé tout le jour, c'est de l'ordre de 2 kWh supplémentaires qui participeront inutilement à l'accroissement de sa température en fin de journée.

Le recours à des lampes basse consommation permet de diviser les apports de chaleur par 4 ou 5. Par exemple, une lampe à incandescence de 100 W peut être remplacée par une lampe fluocompacte de 23 W pour un niveau d'éclairement identique. L'apport de chaleur s'en trouvera diminué de 100 - 23 = 77 W.

Consommation comparée de différents types de lampes.

	Puissance dissipée	*Éclairement*	*Apport de chaleur*
Une lampe de bureau utilisée durant 7 heures			
Une lampe à incandescence de 80 W	80 W	Identique	0,56 kWh
Une lampe fluocompacte de 20 W	20 W	Identique	0,14 kWh
Éclairage d'ambiance pour un salon pendant 4 heures			
Une lampe plafonnier halogène de 500 W	500 W	Identique	2,00 kWh
Quatre lampes fluocompactes de 23 W	92 W	Identique	0,37 kWh

[1] *80 kWh/m² pour un climat moyen en France et un facteur solaire du vitrage de 0,81 (double vitrage).*

L'utilisation d'éclairages très efficaces en énergie réduit la facture de l'usager, la consommation d'énergie, les nuisances sur l'environnement et les surchauffes estivales ! Un choix quatre fois gagnant.

Différents modèles de lampes à basse consommation d'énergie.

Nos appareils, sources de chaleur méconnues

Tous nos appareils ménagers, même lorsqu'ils sont en veille, consomment de l'énergie dont la quasi-totalité est transformée en chaleur. La quantité de chaleur produite dépend de la puissance de l'appareil et du temps d'utilisation.

Comme pour l'éclairage, la recherche de l'efficacité énergétique est une stratégie gagnante sur tous les tableaux : elle réduit bien sûr les consommations d'énergie, et elle minimise les chaleurs dissipées à l'origine d'une partie des surchauffes estivales de nos logements.

Pour diminuer celles-ci, il est aussi possible, lorsqu'on le peut, de placer certains appareils dissipant régulièrement de la chaleur (réfrigérateur, congélateur) dans des pièces de service.

Frigo et canicule

Au plus fort de la canicule, certaines personnes, ne supportant plus la chaleur extrême de leur logement, ont tenté d'utiliser le réfrigérateur de leur cuisine comme climatiseur, en l'installant dans leur chambre et en ouvrant la porte en permanence. Le résultat final est malheureusement inverse de celui recherché : cela augmente la température moyenne de la pièce au lieu de l'abaisser !

Lorsqu'il est en marche, un réfrigérateur transfère la chaleur de l'intérieur (qui donc se refroidit) vers l'extérieur (vers le condenseur, la grille située à l'arrière). Si la porte reste grande ouverte alors que le frigo fonctionne, le transfert vers le condenseur a bien lieu, mais la chaleur soutirée de la pièce est égale à chaleur évacuée par le condenseur à l'intérieur de la même pièce : le bilan est nul à ce niveau. Mais pendant ce temps-là, le compresseur, qui tourne au maximum et fonctionne en continu puisque la porte est maintenue ouverte, crée une nouvelle source de chaleur et participe à l'accroissement de la température de la pièce.

	Chaleur émise pendant une journée
Téléviseur laissé en veille (15 W) durant 20 heures	0,30 kWh
Téléviseur allumé (75 W) durant 4 heures	0,30 kWh
20 minutes de repassage	0,30 kWh
Une demi-heure de cuisson au four	1,5 kWh
Réfrigérateur (compresseur et chaleur dégagée au condenseur)	3,0 kWh

Connexions à haut débit… de chaleur ?

Bureautique et canicule

Les appareils informatiques sont à l'origine d'apports internes de chaleur souvent très importants.

La puissance électrique moyenne d'un ordinateur de bureau est de l'ordre de 250 W : 100 W pour l'unité centrale et 150 W pour un écran cathodique (soit 3 fois plus qu'un téléviseur !) : tout se passe comme si un convecteur de 250 W supplémentaire chauffait la pièce dans laquelle il se trouve.

En plein été, l'utilisation permanente d'un ordinateur de bureau dans un local de 20 mètres carrés normalement isolé et non climatisé accroîtra la température en milieu de journée de 3,5 °C.

L'utilisation d'écrans plats ou d'ordinateurs portables est un moyen très efficace de diminuer cette chaleur parasite.

Quand l'ADSL accroît la température de nos logements

Avec la généralisation des connexions à haut débit à Internet (ADSL), de plus de plus de personnes laissent allumés en permanence leur ordinateur personnel et son écran, pour bénéficier 24 heures sur 24 d'une connexion immédiate à Internet.

La puissance électrique nécessaire moyenne étant de 250 watts, une connexion permanente consomme donc 2 200 kWh par an. Autant que 8 lave-vaisselle ou 6 réfrigérateurs !

Un ordinateur portable consomme 8 fois moins d'énergie et émet 8 fois mois de chaleur qu'un ordinateur de bureau.

	Puissance dissipée	*Apport de chaleur sur une journée*
Ordinateur de bureau et écran cathodique allumés durant 24 heures	250 W	6,0 kWh
Ordinateur de bureau et écran cathodique allumés uniquement pendant les heures de bureaux (8 heures)	250 W	1,75 kWh
Ordinateur de bureau et écran plat allumés durant 8 heures	125 W	1,0 kWh
Ordinateur portable allumé durant 8 heures	30 W	0,24 kWh

Aider le corps à lutter contre la chaleur

Notre corps dispose de mécanismes efficaces pour lutter contre la chaleur, mais ils ont leurs limites. Il importe donc de tout mettre en œuvre pour contribuer à leur bon fonctionnement, par notre façon de nous vêtir, d'aménager notre maison, de nous nourrir, de combattre la déshydratation. Les personnes fragilisées par la maladie ou par l'âge sont particulièrement vulnérables. Il faut donc redoubler d'attention pour elles.

Transpirer : notre premier moyen de lutte contre la chaleur

En période de canicule, le corps se trouve confronté à une double difficulté :

> Il est exposé à un excès de chaleur, contre lequel il doit lutter pour conserver sa température, qui doit toujours rester proche de 37 °C. Cette chaleur lui parvient principalement par rayonnement à partir du soleil, ou par convection lorsque la température de l'air est supérieure à celle de la peau, qui est d'environ 32,5 °C ;

> Il a des difficultés à évacuer la chaleur qu'il produit, évacuation pourtant indispensable pour éviter une élévation de la température corporelle. Cette évacuation est en effet difficile lorsque la différence de température entre le corps et l'environnement est faible ou – situation extrême – lorsque la température extérieure dépasse celle du corps.

Dilater les vaisseaux sanguins pour lutter contre la chaleur

En cas de stress thermique, le signal envoyé à l'hypothalamus par les terminaisons nerveuses périphériques déclenche une dilatation des vaisseaux sanguins qui irriguent la peau, ce qui provoque une accélération des échanges thermiques avec l'environnement par conduction et par rayonnement, donc une évacuation plus rapide de la chaleur corporelle. Cette dilatation entraîne une accélération du rythme cardiaque, ce qui peut constituer un risque pour les personnes âgées ou ayant le cœur en mauvais état.

La principale arme dont dispose le corps pour faire face à ce type de situation est la transpiration, l'évaporation de la sueur permettant d'évacuer la chaleur corporelle excédentaire. Constituée principalement d'eau, la sueur est sécrétée par les 2 à 3 millions de glandes sudoripares réparties sur notre corps. Lorsque la peau reçoit de la chaleur en excès et a du mal à évacuer celle que le corps produit, des terminaisons nerveuses – sortes de capteurs situés au niveau de la peau – envoient un signal à l'hypothalamus, une glande endocrine, qui déclenche une augmentation de la sécrétion des glandes sudoripares, et nous nous mettons à transpirer. Mais la sueur ne nous refroidira efficacement que si elle s'évapore

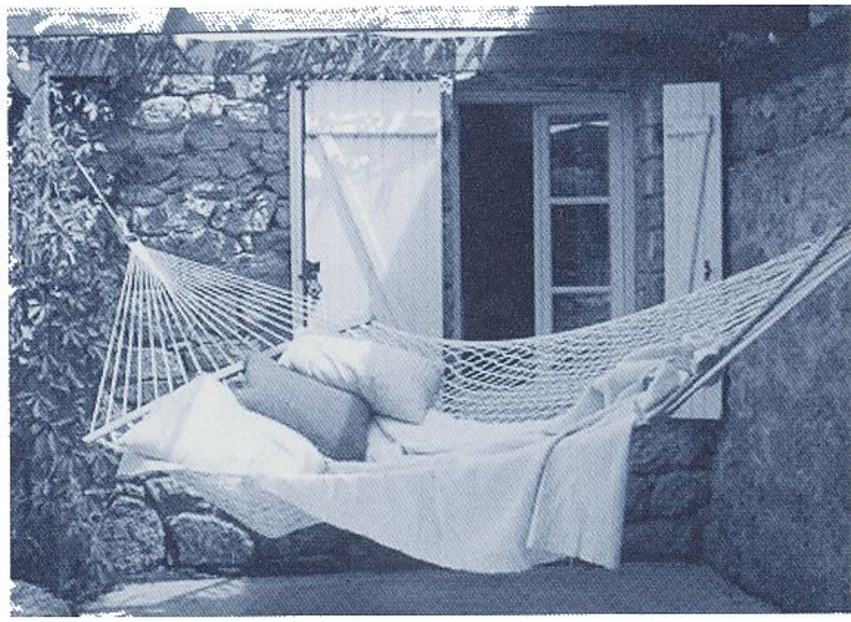
rapidement. La vitesse d'évaporation dépend principalement de quatre facteurs :
➧ la température de l'air : plus elle est élevée et plus l'évaporation sera rapide ;
➧ l'hygrométrie de l'air : moins l'air contient de vapeur d'eau (air " sec ") et plus l'évaporation est facile. À l'inverse, dans un air presque saturé de vapeur d'eau, comme dans les climats tropicaux humides, l'évaporation de l'eau est très ralentie, on ruisselle de sueur et le corps a plus de difficulté à maintenir sa température ;
➧ la vitesse de l'air au contact de la peau : une vitesse élevée de l'air favorise l'évaporation, d'où l'intérêt des éventails, ventilateurs et autres moyens de créer localement des courants d'air ;
➧ les vêtements que l'on porte : l'évaporation est maximale lorsque la peau est nue, ce qui ne signifie pas – considérations sociales mises à part ! – qu'il faille de préférence se promener dans le plus simple appareil lorsqu'il fait chaud. Lorsqu'on est exposé au rayonnement du soleil, plus particulièrement si l'on n'a pas une activité physique importante, il est au contraire préférable de porter des vêtements en raison des risques bien connus liés aux rayons ultraviolets, mais aussi parce que, paradoxalement, on a souvent moins chaud au soleil habillé que nu lorsque le climat est chaud et sec. En effet, les vêtements, à condition d'être clairs, arrêtent et renvoient une bonne partie du rayonnement solaire. Dans les pays tropicaux humides, au contraire, le corps doit être aussi peu couvert que possible pour faciliter au maximum l'évaporation.

Choisir les bons vêtements

En matière de vêtements, il faut surtout faire preuve de bon sens :
➧ porter des vêtements amples, comme on le fait dans tous les pays chauds. Des vêtements collants ou trop près du corps ralentissent l'évaporation de la sueur et donc le refroidissement du corps. La couche d'air entre la peau et le vêtement permet également une meilleure isolation de la chaleur

extérieure : la djellaba ou le boubou africain sont parfaitement adaptés aux climats chauds ;
➧ choisir des tissus légers, en fibres naturelles : coton ou, mieux encore, lin ou chanvre, qui absorbent bien la sueur ;
➧ opter pour des couleurs claires, qui réfléchissent une partie du rayonnement reçu directement du soleil ou réfléchi par les murs ;
➧ dehors, lorsque le soleil tape, porter un chapeau de couleur claire, par exemple en paille, à moins qu'on ne préfère une ombrelle ;
➧ chez soi, le corps n'étant pas directement soumis au rayonnement solaire, on aura au contraire intérêt à se vêtir le moins possible ;
➧ veiller tout particulièrement à la manière dont sont habillés les bébés et les personnes âgées, particulièrement sensibles à la chaleur.

Aménager et meubler sa maison en vue de la canicule



Les revêtements de sol, la couleur des murs, l'ameublement ont aussi leur rôle dans le confort thermique. Il est ainsi souhaitable :
➧ de préférer les revêtements de sol lisses, tels que le parquet ou les carrelages, pour éviter de piéger des polluants chimiques dans les tapis et les moquettes. Les sols minéraux (carrelages, tomettes) présentent des avantages qui leur sont propres : on peut en faire des planchers rafraîchissants, ils ont en général une forte inertie, et on peut les humidifier pour augmenter l'évaporation ;
➧ d'opter pour des meubles en bois massif ou en rotin, les meubles en panneaux de particules émettant beaucoup de formaldéhyde par temps chaud ;
➧ d'éviter les matières plastiques, qui émettent également des polluants chimiques, tels que des phtalates et des retardateurs de flamme ;
➧ de choisir, pour l'été, des sièges au dossier ajouré, en bois ou métalliques, afin d'éviter de tremper le dos de sa chemise, faute de pouvoir évacuer la sueur de cette

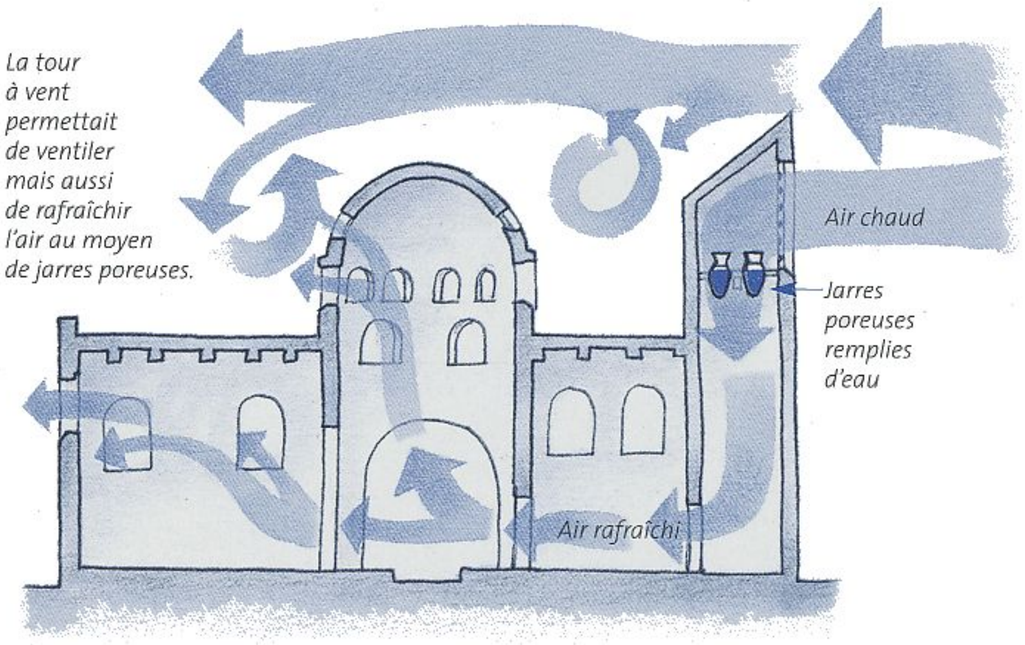
partie du corps. Dormir dans un hamac permettra au corps d'échanger le plus possible sa chaleur avec l'air ambiant ;

➧ éventuellement de modifier la disposition des meubles pour placer sièges, tables et lits dans les endroits les mieux ventilés.

Enfin, il ne faut pas négliger le fait que la couleur des objets qui nous environnent agit sur cette notion très personnelle qu'est le confort thermique : nous nous sentirons plus au frais dans une pièce aux murs clairs (couleurs "froides") que dans une pièce aux murs foncés (couleurs "chaudes"), à température égale. Un coup de pinceau peut aussi aider à lutter contre la canicule !

Astucieuses tours à vent

À Dubaï, dans le climat très rude du golfe Persique, une technique astucieuse permettait de dormir dans la fraîcheur d'un souffle d'air rafraîchi, même par les plus grandes chaleurs. On construisait dans chaque habitation une tour carrée de 2 ou 3 mètres de côté et de 6 à 15 mètres de haut, dont le conduit était lui-même divisé en quatre par un mur interne en croix. Chacun des quatre conduits de la tour disposait d'une ouverture verticale en partie supérieure vers un des quatre points cardinaux, et tous les conduits communiquaient entre eux au pied de la tour. Ainsi, quelle que soit sa direction, le vent pouvait s'engouffrer par un des quatre conduits, descendre au pied de la tour puis être aspiré dans le conduit opposé. Au pied de la tour était aménagé le lit du propriétaire. Son repos était ainsi délicatement tempéré par une légère brise bienfaisante, rafraîchie au besoin par l'évaporation de tissus humidifiés ou de jarres poreuses.



La tour à vent permettait de ventiler mais aussi de rafraîchir l'air au moyen de jarres poreuses.

Réhydrater et nourrir le corps

Régime canicule : soupes, légumes et aliments aqueux

Par grosse chaleur, le corps perd par transpiration plusieurs litres d'eau par jour. D'où la sensation de soif et la nécessité de boire beaucoup. Mais boire de l'eau ne suffit pas. La sueur n'étant pas de l'eau pure, mais un liquide chargé de minéraux, la compenser uniquement par de l'eau conduit à une " fuite " de minéraux qui peut devenir importante si la canicule se prolonge. Il est donc intéressant de consommer des aliments très aqueux, des soupes, des bouillons de légumes, des jus de fruits, des tisanes.

Un exemple de soupe froide rafraîchissante, inspiré de la cuisine grecque :

Soupe froide au concombre

- 1 gros concombre, 4 yaourts, 1 gousse d'ail, jus de citron, fines herbes (persil, ciboulette, aneth, menthe, selon le goût de chacun), sel et poivre.
- Éplucher le concombre, l'épépiner et le couper en dés. Ajouter du gros sel et laisser dégorger. Rincer et égoutter. Mixer tous les ingrédients en réservant une poignée de dés de concombre et un peu de fines herbes. Laisser refroidir au moins une heure au réfrigérateur. Servir et ajouter dans chaque bol quelques dés de concombre et une pincée de fines herbes finement hachées.

Les soupes froides, idéales en cas de canicule

La soupe est redevenue à la mode, et c'est tant mieux car c'est un plat – ou plutôt une immense famille de plats – d'une inépuisable richesse. En été, les soupes froides sont idéales : elles nourrissent, rafraîchissent et réhydratent tout à la fois et elles évitent de rajouter par les appareils de cuisson de la chaleur à celle, déjà excessive, de l'appartement ou de la maison. Si, en la matière, le gaspacho est évidemment incontournable, il existe bien d'autres soupes froides, issues notamment des cuisines traditionnelles de tout le bassin méditerranéen.

Lorsqu'on est soumis à de fortes chaleurs, il ne faut pas se contenter d'étancher sa soif : il faut boire davantage. En effet, les besoins en eau sont souvent supérieurs à ce que l'on boit spontanément si l'on se fie uniquement à la sensation de soif. Cela est particulièrement vrai pour les personnes âgées, qui ont tendance à ne pas boire assez par temps chaud. Quelle que soit la boisson choisie, on veillera à ne

pas la boire glacée : cela ne rafraîchirait pas davantage le corps et créerait inutilement un choc thermique.

La réhydratation interne peut être complétée par une hydratation externe : brumisation, douches, bains, humidification des vêtements, linges humides sur le visage, rinçages de la bouche.

Une nourriture adaptée permet de mieux supporter la canicule. On bannira les plats lourds à digérer et on donnera une place encore plus grande que d'habitude aux légumes, en préférant les plus aqueux : concombre, tomate, courgette, salades de toutes sortes.

Coups de chaleur : lorsque le corps n'en peut plus

Certains médicaments augmentent le risque de coup de chaleur

Les médecins définissent le coup de chaleur comme un accroissement de la température corporelle associé à une altération de la conscience (coma, délire, convulsions), consécutifs à une exposition à une température ambiante élevée. Le coup de chaleur intervient lorsque les mécanismes de dissipation de la chaleur de l'organisme – principalement la sudation et la vasodilatation – se trouvent dépassés. Il se traduit par une hyperthermie, c'est-à-dire une augmentation de la température du corps, généralement au-delà de 42 °C. Il s'accompagne souvent d'une tachycardie (augmentation du rythme cardiaque). Si elle n'est pas prise en charge rapidement, l'hyperthermie peut conduire à la mort, comme on l'a hélas constaté l'été 2003, ou à des séquelles neurologiques.

Une étude américaine, réalisée après la canicule de 1995 à Chicago qui avait causé la mort de plus de 500 personnes, a mis en évidence un certain nombre de facteurs aggravants, tels que le fait de souffrir de problèmes médicaux connus, d'être confiné au lit, de ne pas sortir chaque jour, d'habiter au dernier étage d'un bâtiment, ou de vivre seul. Parmi les comportements ou les maladies augmentant le risque de coup de chaleur, on peut citer : la consommation d'alcool, l'obésité, les maladies du système cardiovasculaire, les maladies respiratoires, les maladies mentales, le diabète, les maladies du système génito-urinaire. Enfin, plusieurs familles de médicaments peuvent favoriser le coup de chaleur, notamment des antihistaminiques, des antiparkinsoniens, des diurétiques, des neuroleptiques, des anxiolytiques, des antidépresseurs, etc.

Les premiers signes d'un coup de chaleur :
Des maux de tête, des vertiges, de la confusion mentale, une augmentation de la température corporelle, une peau rouge et chaude, un pouls rapide.
Les mesures d'urgence face à ces symptômes en attendant l'arrivée du médecin : déshabiller la personne et humidifier sa peau pour la refroidir par évaporation (brumisation, enveloppement dans des linges mouillés, aspersion d'eau fraîche – mais non glacée). Utiliser éventuellement un ventilateur pour accélérer l'évaporation.

Rafraîchir en ventilant

9

Avant l'arrivée de la clim', le ventilateur était le principal moyen dont on disposait, sinon pour rafraîchir l'air, du moins pour mieux supporter la chaleur. Or, la ventilation reste, avec l'évaporation, la principale alternative naturelle à la climatisation dont nous disposons.

Ventiler, un éventail de solutions

Au frais en ventilant

Ventiler, c'est rechercher un meilleur confort en mettant l'air en mouvement.

On peut ventiler en brassant l'air d'une pièce avec un simple ventilateur, ou bien en renouvelant l'air intérieur grâce à un apport d'air venant de l'extérieur.

Dans le premier cas, on réalise un simple **brassage** de l'air. Lors de grosses chaleurs, il s'agit de se rafraîchir en facilitant l'évaporation de la sueur sur la peau, et donc l'évacuation de la chaleur corporelle : c'est l'effet ressenti en agitant devant le visage un éventail ou un journal. Pour procurer en été une sensation de rafraîchissement agréable, la vitesse de l'air doit se situer entre 0,2 mètre par seconde (début de la sensation de courant d'air) et 0,8 mètre par seconde (vitesse à laquelle des feuilles de papier peuvent être déplacées). Utile pour rafraîchir, le brassage d'air n'assure donc pas le **renouvellement** hygiénique de l'air, et n'abaisse pas sa température.

On parle de renouvellement lorsque l'on remplace l'air intérieur par de l'air "neuf" pris à l'extérieur[1]. Pour que cette ventilation rafraîchisse, il faut évidemment que la température de l'air qui pénètre soit inférieure à celle de l'air intérieur : ce n'est souvent pas le cas aux heures les plus chaudes de la journée.

Le renouvellement de l'air peut s'effectuer de façon naturelle (ouverture des fenêtres, dispositifs architecturaux favo-

Pourquoi l'éventail rafraîchit les belles Espagnoles

En mettant l'air en mouvement lorsqu'il fait très chaud, les dames espagnoles, grâce à leur élégant éventail, remplacent rapidement l'air proche de leur visage, saturé en vapeur d'eau, par un air moins humide, plus agréable.
En même temps, le déplacement de l'éventail augmente la vitesse de l'air au contact de la peau, qui passe alors à 1 ou 2 m/s, ce qui augmente les échanges par convection et de l'évaporation de la sueur.
Celle-ci s'accompagne d'un transfert de chaleur de la peau vers la vapeur d'eau, et crée une sensation de refroidissement du visage.

[1] *L'air intérieur doit être régulièrement renouvelé car il s'appauvrit en oxygène, se charge en vapeur d'eau et en gaz carbonique par la respiration des habitants et, éventuellement, se pollue par différentes odeurs et émissions de substances chimiques. On parle alors d'air vicié.*

risant la mise en mouvement de l'air), ou par un équipement nécessitant de l'énergie, comme une ventilation mécanique contrôlée (VMC), un extracteur de salle de bains ou une hotte de cuisine.

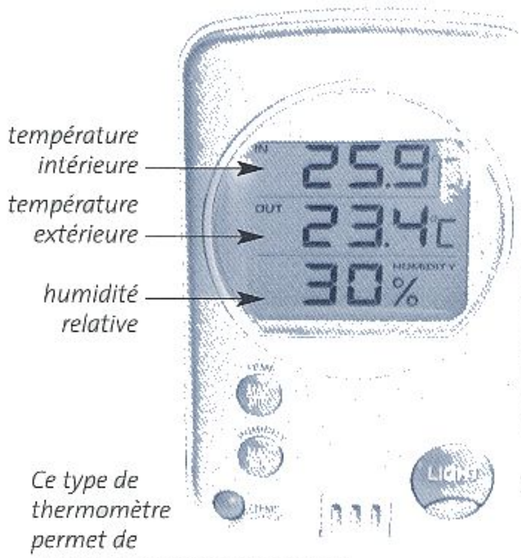
L'air frais introduit peut être soit directement de l'air extérieur lorsqu'il est plus frais que l'air intérieur – c'est le principe de la ventilation nocturne –, soit de l'air préalablement rafraîchi par contact avec une masse plus froide – c'est par exemple la technique du " puits provençal ".

À quel moment faut-il ouvrir les fenêtres en été ?

Lors des grandes chaleurs estivales, la ventilation par les fenêtres répond à deux objectifs : renouveler l'air intérieur et rafraîchir.

Pour renouveler simplement l'air, ouvrir les fenêtres en grand pendant 2 à 5 minutes, plusieurs fois par jour, est suffisant, et cela évite que la chaleur extérieure ne pénètre durablement dans le logement.

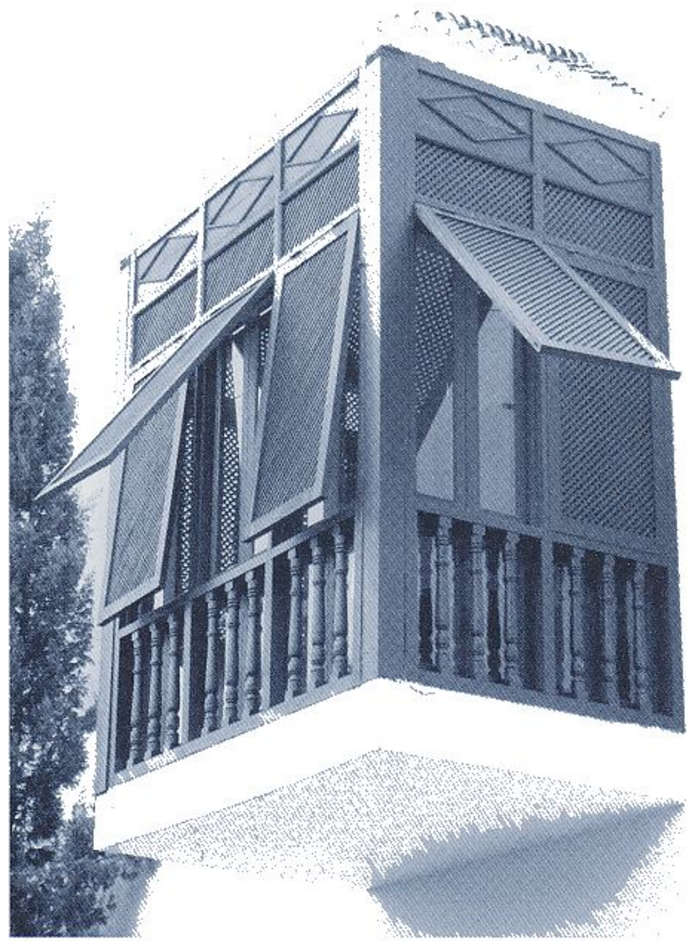
Pour rafraîchir, on est parfois tenté de créer un courant d'air en ouvrant les fenêtres même lorsque l'air extérieur est plus chaud que l'air intérieur. Accélérant l'évacuation de la sueur, un courant d'air même un peu plus chaud que l'air de la pièce créera en effet une impression momentanée de fraîcheur. Mais l'effet à long terme sera inverse de ce que l'on recherche : l'air introduit réchauffera les murs, qui restitueront ensuite la chaleur dans la pièce. Il est donc préférable d'utiliser un brasseur d'air si l'on souhaite simplement augmenter la vitesse de l'air pour améliorer le confort.



Ce type de thermomètre permet de savoir quel est le bon moment pour ouvrir ou fermer les fenêtres.

Dans la pratique, on peut adopter la règle suivante : n'ouvrir les fenêtres au-delà de ce qui est nécessaire pour évacuer l'air vicié que lorsque la température de l'air extérieur est inférieure de 1 à 2 °C à celle de l'air intérieur. Pour savoir quand cette différence de température est atteinte, il suffit d'installer dans les pièces concernées un thermomètre indiquant les températures intérieure et extérieure . Bien entendu, on placera le capteur extérieur à l'ombre, de préférence près de la fenêtre que l'on souhaite ouvrir.

Les moucharabiehs des pays arabes combinent avec beaucoup d'habileté protection solaire et aération nocturne. Le jour, les grillages en bois à claire-voie, fermés, laissent passer de la lumière mais pas le soleil. Le soir, la partie ouvrante des grillages est relevée sur les trois côtés du balcon, facilitant la pénétration de l'air et la création d'un courant d'air, destiné notamment à rafraîchir par évapotranspiration l'eau de la qolla, une jarre poreuse que l'on dépose à cet endroit.



Favoriser la ventilation naturelle

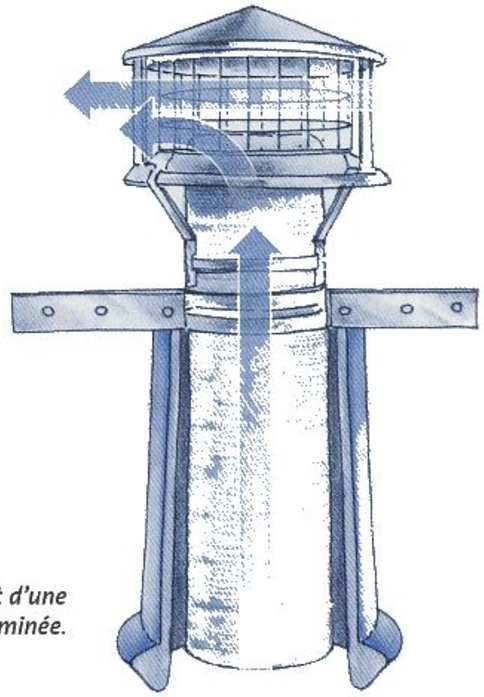
La ventilation "naturelle" consiste à faire rentrer l'air extérieur par la simple ouverture des grilles d'aération ou des fenêtres.

Différentes dispositions intérieures permettent de favoriser la circulation de l'air à l'intérieur de l'habitation en provoquant un courant d'air entre des ouvertures se trouvant sur des façades opposées ou à des niveaux différents.

Ce principe de "balayage" transversal des locaux est essentiel pour atteindre des niveaux de ventilation suffisants pour rafraîchir. Ainsi l'ouverture de deux fenêtres de la même façade sera beaucoup moins performante que leur ouverture sur des façades opposées : cette règle de bon sens est souvent impossible à mettre en pratique dans les logements collectifs, ce qui explique une part importante des surchauffes constatées dans ce type de logement.

Lorsque la ventilation nocturne par ouverture de fenêtres opposées n'est pas possible, une solution intéressante consiste à assister la ventilation naturelle en favorisant la circulation de l'air par des dispositifs simples, tels que des " extracteurs statiques ".

L'air extérieur pénètre alors par une ouverture (fenêtre, large grille d'aération), puis, après " balayage " du logement, est extrait par un conduit d'aération surmonté d'un dispositif accélérant le tirage en créant une aspiration dans le conduit d'aération.



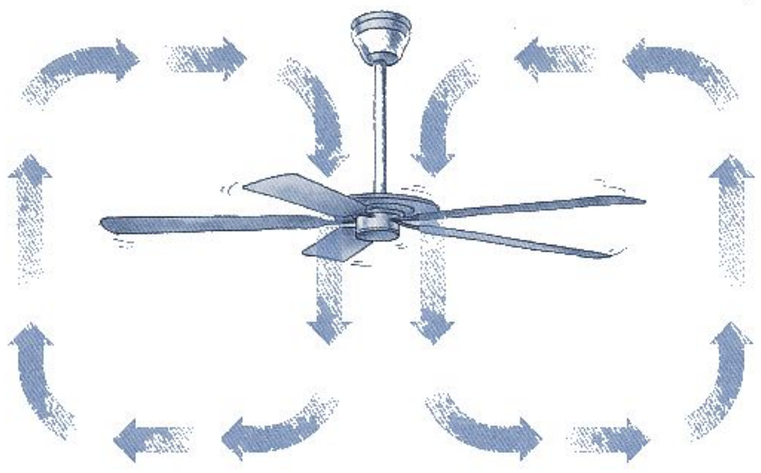
Extracteur statique placé en haut d'une sortie de cheminée.

Brasser l'air : de l'éventail au ventilateur de plafond

Les ventilateurs brasseurs d'air agissent non en refroidissant l'air de la pièce dans laquelle ils fonctionnent, mais rafraîchissent le corps en favorisant l'évaporation de la sueur sur la peau.

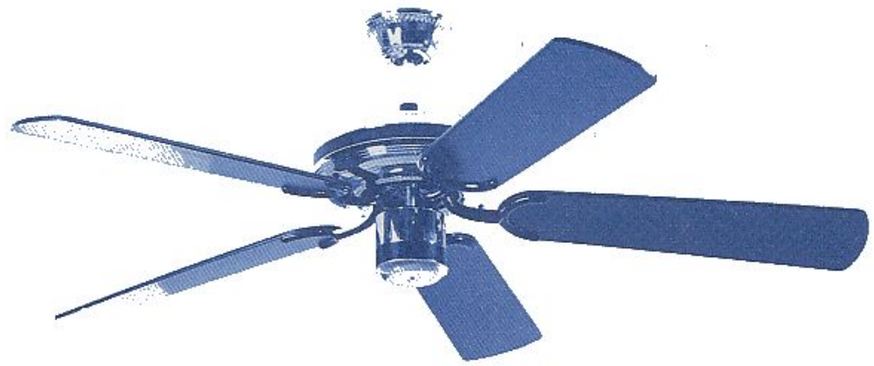
Des petits ventilateurs que l'on pose sur une table à ceux à grandes pales des plafonds, la variété des modèles est considérable.

Seuls les ventilateurs de plafond sont capables de brasser efficacement tout l'air d'une pièce. Présents dans presque tous les lieux publics et dans



Il est préférable de laisser une distance suffisante au-dessus d'un ventilateur de plafond pour faciliter le brassage de l'air.

de nombreuses pièces de vie dans les pays méditerranéens, on peut s'étonner qu'ils soient aussi rares chez nous : ils sont pratiquement silencieux et occupent peu de place.



Un des nombreux modèles de ventilateurs de plafond, servant également de luminaire.

Ventilateurs brasseurs d'air : les critères du choix

Outre le prix et l'esthétique, il convient de comparer :

- la puissance, exprimée en watts (W), qui renseigne sur la consommation d'électricité et donc la chaleur dégagée par le moteur ;
- la vitesse de rotation, en tours par minute : la plupart des ventilateurs disposent de plusieurs vitesses ou, plus rarement, d'un variateur continu ;
- la dimension des pales : le brassage de l'air est d'autant plus efficace que les pales sont plus grandes ;
- le volume d'air brassé, en mètres cubes d'air par heure, variable selon la vitesse ;
- le bruit, en décibels ;
- pour les ventilateurs portatifs, le caractère oscillant ou non ;

Pour les ventilateurs de plafond, on tiendra compte en outre des critères suivants :

- le diamètre : moins d'un mètre pour brasser l'air dans une petite pièce (moins de 20 m²), 1 m à 1,20 m pour une pièce de dimension moyenne (20 à 30 m²), 1,30 à 1,40 m une plus grande pièce (plus de 30 m²) . Il faut prévoir deux ventilateurs pour les très grandes pièces (plus de 40 à 45 m²) ;
- la hauteur : la hauteur entre le plafond et les pales du ventilateur varie selon les modèles d'environ 20 cm à plus de 50 cm. Ne choisir un modèle de faible hauteur que si le plafond est relativement bas. Selon la réglementation, la distance minimale entre le sol et les pales doit être de 2,30 m ;
- la réversibilité : choisir un modèle réversible pour une utilisation hivernale ;
- le luminaire : si l'on opte pour un modèle avec luminaire, vérifier que l'on peut remplacer les ampoules prévues (presque toujours halogènes ou à incandescence) par des fluocompactes (culot E27 ou E14).

La surventilation nocturne

La température extérieure diminue régulièrement en fin de journée et durant la nuit : l'air extérieur peut alors rafraîchir très efficacement une habitation si elle est ventilée à ces moments-là. Ainsi, la température atteint progressivement dans la soirée des valeurs plus agréables et propices au sommeil. De plus, en étant plus frais au matin, le logement n'atteindra pas en fin de journée une température aussi élevée que s'il n'avait pas été ventilé. Cet effet de rafraîchissement sera d'autant plus important que le renouvellement de l'air provoqué par la ventilation sera rapide. La surventilation nocturne consiste à accélérer le renouvellement de l'air, par un moyen naturel ou mécanique.

Cette technique est simple, et performante à trois conditions :

> les températures nocturnes doivent être pendant plusieurs heures assez nettement inférieures à la température intérieure du logement ;

> la ventilation doit être suffisamment importante pour renouveler la totalité de l'air du logement 4 à 8 fois par heure ;

> enfin, **la fraîcheur nocturne** doit pouvoir être " stockée " dans les murs, le mobilier, ce qui suppose qu'ils aient **une inertie assez forte**. Il faut en effet que l'air frais balayant les parois les rafraîchisse en profondeur pour éviter que la température intérieure ne remonte trop vite dans la journée : l'inertie est l'alliée indispensable de la surventilation.

Une telle ventilation accélérée peut être assez facilement obtenue en ouvrant des fenêtres ou des ouvrants sur des façades opposées, ou à des niveaux différents : on parle alors de ventilation naturelle traversante.

VMC et surventilation nocturne

Comment assurer une surventilation nocturne lorsqu'on ne peut pas, ou que l'on ne souhaite pas, ouvrir les fenêtres ?

Les débits de ventilation habituels en VMC sont le plus souvent insuffisants pour assurer une surventilation nocturne très efficace : il faut en effet prévoir une installation de ventilation dimensionnée pour assurer un débit d'au moins 4 à 6 volumes/heure (vol/h)[2].

Certaines sociétés (notamment Aldes) proposent un système à extraction d'air supplémentaire qui vient s'ajouter au système de ventilation existant.

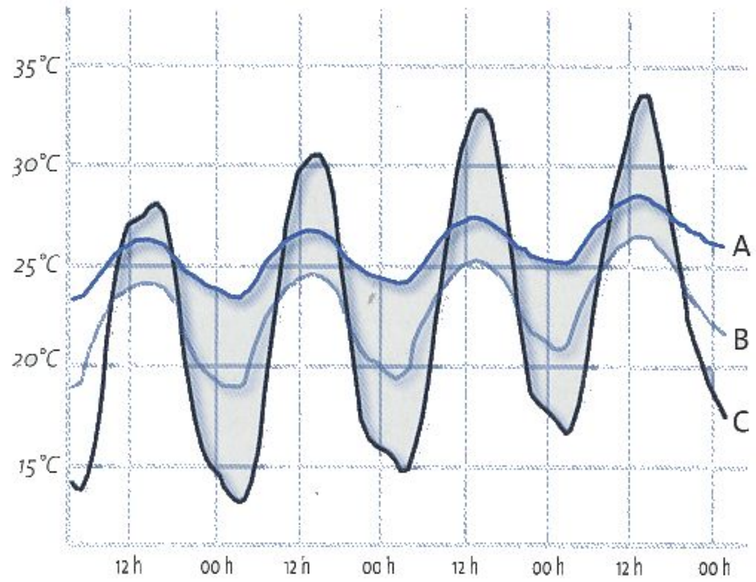
L'arrivée d'air dans les chambres est assurée par entrées d'air additionnelles isolées acoustiquement. Les réseaux collectifs sont implantés dans les gaines VMC, agrandies si nécessaire. Le groupe de ventilation supplémentaire est asservi à des régulations (horloge, thermostats, sécurités) et placé en toiture sur des semelles acoustiques.

Un système de surventilation nocturne dimensionné pour 6 vol/h permet un abaissement des températures intérieures de 2 à 4 °C.

Les coûts de fonctionnement sont faibles (80 watts par pièce environ), et il n'y a pas de contrainte de manœuvre journalière par l'occupant.

[2] *Par exemple, pour rafraîchir par surventilation nocturne un logement de 100 m2 de surface habitable, soit un volume de 250 m³, on prévoira une VMC pouvant extraire 1 000 m3 par heure.*

Lorsque les fenêtres sont mal disposées pour pouvoir ventiler efficacement le logement ou lorsqu'il est impossible, souvent en raison du bruit, de laisser les fenêtres ouvertes la nuit, il est nécessaire de faire appel à la ventilation mécanique contrôlée (VMC).



Effet de la surventilation. *Une forte ventilation nocturne (B) permet un abaissement très sensible de la température lors de ces quatre journées estivales (du 11 au 15 juillet).*

Le puits provençal

Le puits provençal, variante estivale du puits canadien, est une méthode remarquablement efficace pour rafraîchir l'air même par forte canicule.

Il s'agit d'une technique ancestrale, dont le principe – d'une grande simplicité – repose sur le fait que la température du sol, au-delà de 1,5 mètre de profondeur, ne varie que de quelques degrés au cours de l'année. En été, elle est donc plus basse que celle de l'air extérieur. Celui-ci peut donc être refroidi en permanence s'il circule, avant de pénétrer dans l'habitation, dans des tuyaux enterrés à cette profondeur.

L'équipement nécessaire pour une maison individuelle consiste en une canalisation de forte section (par exemple en PVC de 160 à 250 mm de diamètre) placée dans le sol, à une profondeur de 1,5 à 2,5 mètres, sur une longueur d'au moins 25 à 35 mètres. L'air extérieur est insufflé dans ce tuyau par un ventilateur avant de pénét-

Canadien ou provençal ?

Le puits provençal cache bien son jeu : ce n'est pas vraiment un " puits ", et il n'est pas uniquement originaire de Provence ! Réversible, il peut être utilisé en hiver pour préchauffer l'air qui pénètre dans la maison. On parle alors de puits canadien. En fait, ce puits serait plutôt persan ou grec : une technique semblable était déjà employée avant notre ère. À moins qu'il ne soit italien puisque, dès le XVIe siècle, des cavités naturelles (*les covoli*) ont été utilisées pour rafraîchir les habitations dans les collines de Vicenza, en Italie [9].

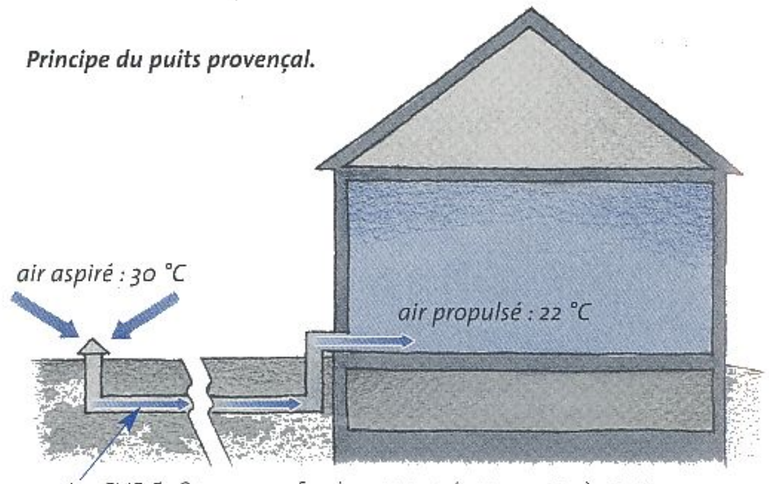
rer dans les locaux à rafraîchir[3]. Ce parcours souterrain suffira à lui faire perdre environ 5 à 9 °C : si l'air extérieur est par exemple à 30 °C, l'air qui pénétrera dans la maison sera à environ 22 °C.

Le puits provençal est performant : son COP (coefficient de rendement énergétique, voir chapitre 12) est le plus souvent supérieur à 30, ce qui revient à dire que l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement est dix fois mieux employée qu'avec un climatiseur.

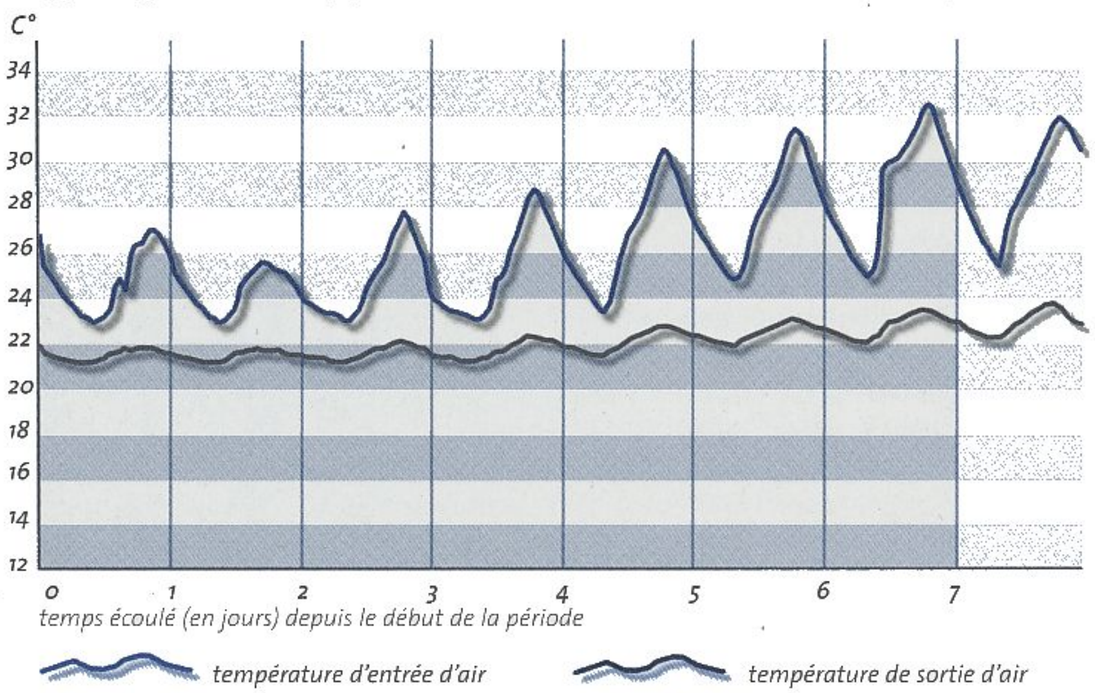
Il est aussi écologique : il n'utilise pas de compresseur, ne consomme que quelques dizaines de watts pour le ventilateur, et n'utilise pas de fluides frigorigènes.

Enfin le coût d'un puits provençal est faible : il est principalement conditionné par le coût de creusement des tranchées nécessaires.

Principe du puits provençal.



Variations de température de l'air à l'entrée et à la sortie d'un puits provençal sur 9 jours en juillet à Toulouse [10].



3 Le recours à une simple ventilation naturelle ne créera pas un débit d'air suffisant dans les canalisations enterrées et ne permettra pas de contrôler le débit d'air, principal paramètre de fonctionnement.

Rafraîchir par évaporation 10

Évaporer de l'eau pour lutter contre la chaleur : nous le faisons, comme les animaux et les plantes, chaque fois que nous transpirons. Dans certains pays chauds, on utilise aussi l'évaporation de l'eau pour rafraîchir les maisons. Une technique naturelle, d'une remarquable efficacité.

Rafraîchir avec de la vapeur d'eau, un paradoxe ?

Pourquoi l'air au-dessus d'un sol qui vient d'être arrosé nous semble-t-il soudain plus frais ?

Et, à l'inverse, pourquoi un peu plus de vapeur d'eau dans l'air refroidit-il celui-ci, alors que la vapeur est plutôt associée, dans notre esprit, à la production de chaleur ?

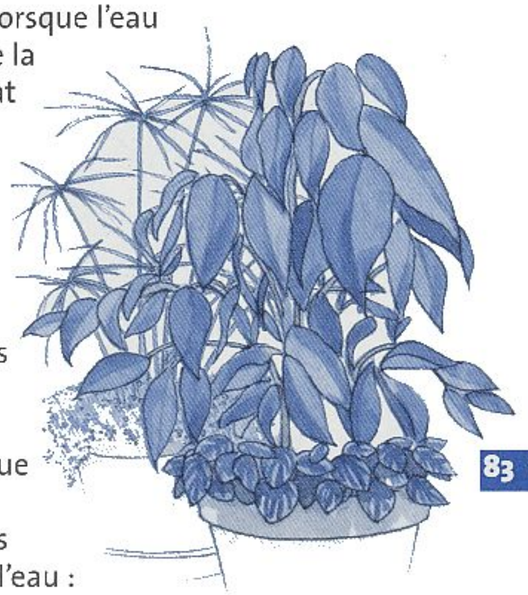
Cette relation particulière entre l'air et l'eau mérite quelques explications. L'air qui nous entoure contient une certaine quantité d'eau sous forme non liquide, mais gazeuse - la vapeur d'eau. Cette quantité peut varier dans des proportions assez importantes, elles-mêmes dépendantes de la température. L'air s'enrichit en vapeur d'eau par évaporation, par exemple lorsqu'on fait chauffer de l'eau ou lorsqu'on prend une douche.

Mais cette évaporation se produit également lorsque l'eau est froide, par exemple à la surface d'un lac ou de la mer. Or, le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux exige de l'énergie, et même beaucoup d'énergie : il en faut 7 fois plus pour faire passer 1 gramme d'eau sous forme liquide à l'état de vapeur, que pour l'amener de 20 à 100 °C. Lorsqu'on fait chauffer de l'eau, cette énergie est fournie par une source de chaleur – gaz, électricité ou bois. Lorsque de l'eau s'évapore sans apport de chaleur, elle prend l'énergie nécessaire dans l'air environnant, qui se refroidit.

Lorsque nous transpirons, c'est à notre corps que l'eau prend de l'énergie, ce qui le rafraîchit.

De même, en cas de fortes chaleurs, les plantes maintiennent leur température en évaporant de l'eau : c'est le mécanisme de l'évapotranspiration.

La nature faisant bien les choses, le fait que cet échange demande beaucoup d'énergie permet aux hommes, aux animaux et aux plantes de maintenir leur



Comme nous, les plantes luttent contre l'excès de chaleur en évaporant de l'eau : c'est l'évapotranspiration.

température intérieure constante ou dans des limites supportables, même lorsque la température de l'air est très élevée.

Cette propriété peut également être utilisée pour rafraîchir l'air. En effet, sans apport supplémentaire d'énergie extérieure, toute augmentation de la teneur en eau de l'air se produit en soutirant de la chaleur à ce dernier, ce qui diminue sa température. D'où, par exemple, l'impression de fraîcheur lorsque nous traversons un terrain qui vient d'être arrosé, une partie de l'eau d'arrosage s'étant transformée en vapeur.

Taux d'humidité de l'air et point de rosée

La quantité de vapeur d'eau que l'air peut contenir est limitée, et elle est fonction de la température de l'air. Lorsque cette limite est atteinte, on dit que l'air est saturé et que l'on est au "point de rosée" : la vapeur d'eau supplémentaire libérée dans l'air se condense, c'est-à-dire retourne à l'état liquide et se dépose. Elle le fait sur les parois les plus froides car plus l'air est froid, moins il peut contenir d'eau. Par exemple, à 20 °C, l'air ne peut pas contenir plus de 14,5 grammes (g) d'eau par kilogramme (kg) d'air sec [A], et pas plus de 27 g à 30 °C [B].
Le pourcentage entre la teneur en eau de l'air ambiant et la teneur maximale que peut contenir le même air à saturation est appelé taux d'humidité relative : à 30 °C, un air contenant 14,5 g par kg d'air sec présente un taux d'humidité de 14,5/27, soit 54 % [C]. C'est ce pourcentage qui est indiqué par les hygromètres.
Autre exemple : un air à 20 °C ayant une teneur en eau de 10 g par kg d'air sec a un taux d'humidité de 10/14,5, soit 69 % [D]. Si cet air est refroidi à 16 °C sans apport d'eau supplémentaire, le taux d'humidité passe à 90 % [E], alors que la teneur en eau est restée identique. Si cet air est réchauffé à 34 °C, le taux d'humidité chute à 30 % [F]. Cela explique pourquoi au petit matin, lorsque les températures sont le plus basses, la rosée se forme, et pourquoi le taux d'humidité de l'air baisse durant la journée lorsque l'air se réchauffe.

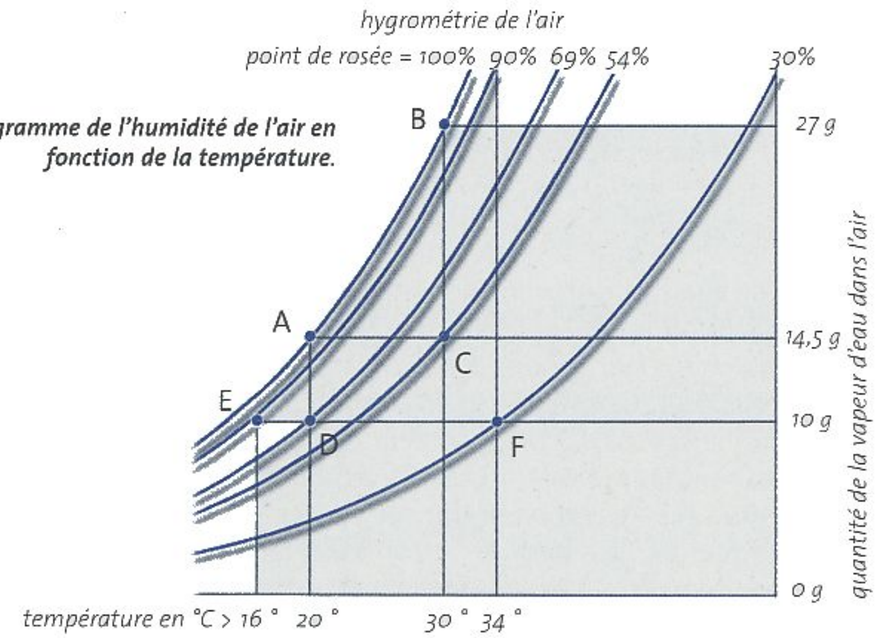
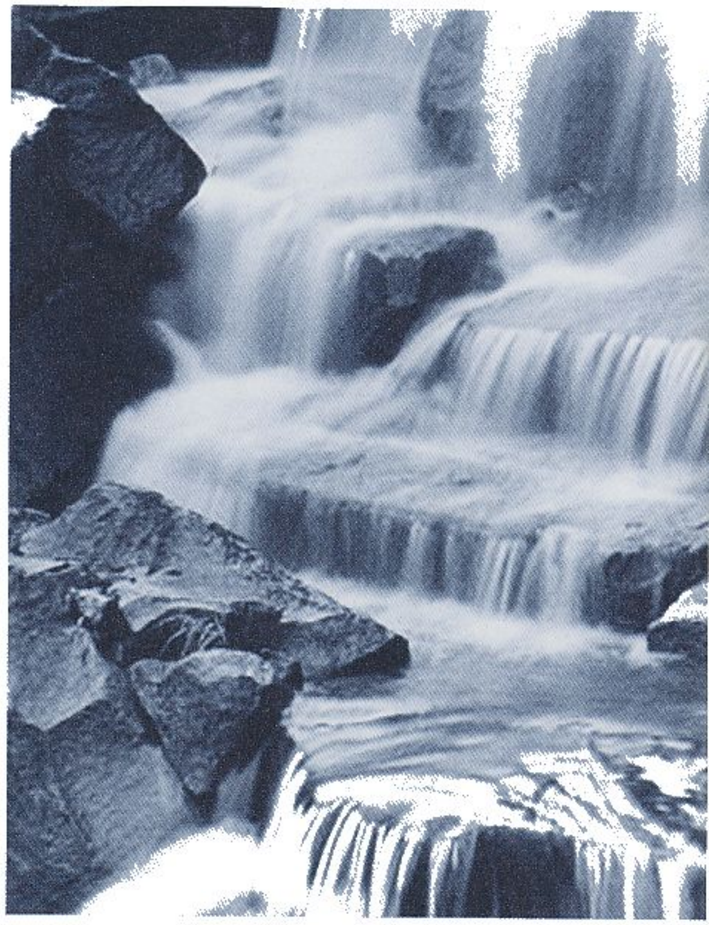


Diagramme de l'humidité de l'air en fonction de la température.

Rafraîchir en humidifiant

Pourquoi fait-il frais à proximité d'une cascade ?

Une cascade provoque toujours un nuage de gouttelettes d'eau à proximité : celles-ci se transforment rapidement en vapeur d'eau. Ce processus d'évaporation prend de la chaleur à l'air, qui donc se refroidit.



Dans nos cuisines l'air s'humidifie, souvent de manière excessive si la ventilation est insuffisante, parce que l'eau chaude des casseroles sur le feu produit de la vapeur en grandes quantités. Le plus simple, en effet, pour humidifier l'air, est tout simplement de faire chauffer de l'eau, éventuellement jusqu'à l'ébullition. On trouve dans le commerce des humidificateurs fonctionnant selon ce principe. Ils sont efficaces pour augmenter le taux d'humidité de l'air, mais ne sont évidemment d'aucune utilité pour rafraîchir l'air, bien au contraire.

Si l'on veut rafraîchir en humidifiant, il faut que l'eau se transforme en vapeur sans être chauffée par une source d'énergie extérieure. Différentes techniques, plus ou moins sophistiquées, permettent d'y parvenir, grâce à des brumisateurs ou à des évaporateurs.

Les plantes d'appartement contribuent-elles à rafraîchir l'air ?

Les plantes transpirent, comme nous, mais l'essentiel de l'eau qu'elles rejettent est émis sous forme de vapeur et non de gouttelettes. L'air est donc humidifié, ce qui améliore la sensation de confort s'il est très sec, mais il est peu rafraîchi par l'évapotranspiration elle-même : c'est la température de la plante qui est abaissée avant tout, et non celle de l'air ambiant.
Cependant, le feuillage des plantes, dont la température est, par les plus fortes chaleurs, inférieure à celle de l'air, contribue à rafraîchir ce dernier par convection, d'autant mieux que la surface foliaire est plus importante. Par ailleurs, le fait de brumiser les plantes pour les aider à lutter contre la chaleur contribue au rafraîchissement, puisque, dans ce cas, l'eau est apportée sous la forme de très fines gouttelettes qui s'évaporent rapidement.

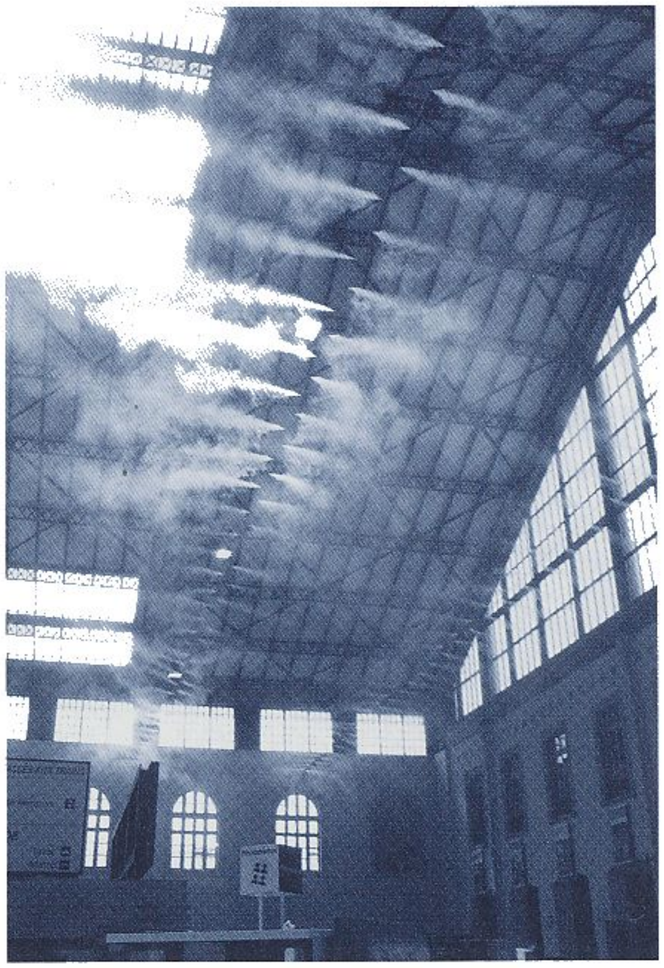
Les brumisateurs

Les animaux d'élevage seraient-ils mieux rafraîchis que nous ?

La brumisation consiste à projeter dans l'air une sorte de brouillard, c'est-à-dire de très fines gouttelettes d'eau qui, en raison de leur petit diamètre, vont s'évaporer très rapidement dans un air chaud en le refroidissant. Dans les brumisateurs à usage professionnel, des petits gicleurs spécialement conçus, généralement répartis le long d'un tuyau dans lequel circule de l'eau sous pression, envoient dans l'air un fin brouillard. Cette technique connaît de nombreuses applications : rafraîchissement des locaux d'élevage ou industriels, des serres, de certains locaux publics, ou encore des terrasses, du pourtour des piscines, etc.

Pour l'intérieur, on trouve des petits brumisateurs pour plantes d'appartement ainsi que des brumisateurs de table. Ces derniers sont vendus comme humidificateurs, mais ils rafraîchissent en même temps. On les trouve dans les catalogues ou sur Internet sous la rubrique "humidificateurs", dans laquelle se trouvent également les humidificateurs par ébullition, qui sont évidemment à exclure. Il faut donc veiller à choisir des humidificateurs dits parfois "à vapeur froide" (bien qu'en réalité il ne s'agisse pas de vapeur, mais de gouttelettes), fonctionnant en général par ultrasons.

Comme toutes les techniques de rafraîchissement par évaporation, la brumisation est d'autant plus efficace que l'air est plus sec au départ. Et si l'air est insuffisamment renouvelé dans la pièce à rafraîchir, leur efficacité diminue au fur et à mesure que le taux d'humidité augmente.



Lors d'une précédente canicule, le grand hall de la gare de Marseille avait été équipé de brumisateurs en vue de rafraîchir l'air. Pendant l'été 2003, au plus fort de la canicule, le système s'est avéré particulièrement efficace !

Les humidificateurs de table

Ces appareils fonctionnent, selon les modèles, selon deux principes :
- par ultrasons : un transducteur convertit l'énergie fournie par un générateur d'ultrasons en oscillations à haute fréquence qui provoquent la formation, à partir d'une réserve d'eau, de gouttelettes d'eau microscopiques ;
- par rotation d'un disque ou d'un cylindre dans de l'eau, qui projette cette dernière sous forme d'un brouillard, généralement à travers un filtre.

La quantité de brouillard qu'ils produisent (environ 1/3 de litre par heure pour les modèles les plus courants) est trop faible pour pouvoir abaisser la température de toute une pièce, mais ils humidifient l'air et le rafraîchissent localement. Ces appareils étant peu coûteux, on peut en placer deux à proximité de l'endroit où l'on se tient.

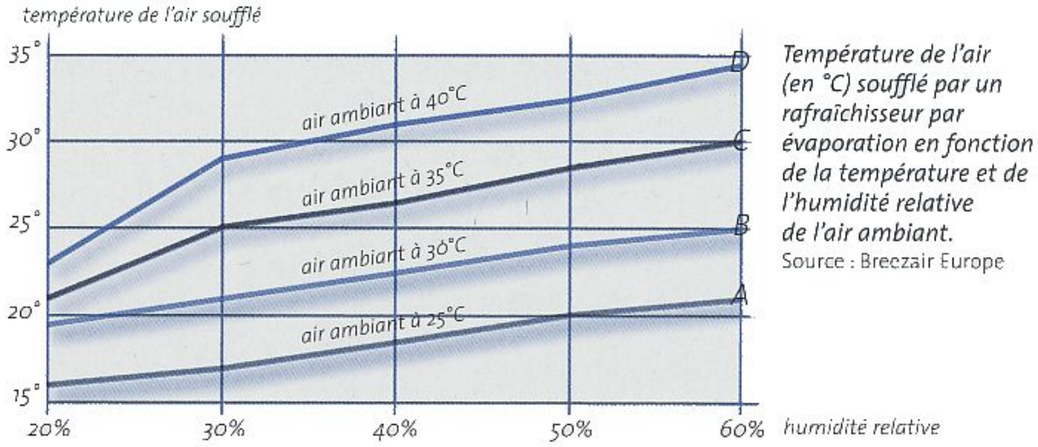
Les rafraîchisseurs par évaporation

Un rafraîchisseur-évaporateur fonctionne exactement selon le même principe qu'un drap mouillé suspendu devant la fenêtre. L'air à rafraîchir est aspiré par l'appareil à l'aide d'un ventilateur intégré et traverse une membrane spongieuse ou finement alvéolée maintenue constamment humide. Cela provoque l'évaporation d'une partie de l'eau qui imprègne la membrane, et donc un net rafraîchissement de l'air qui sort de l'appareil.

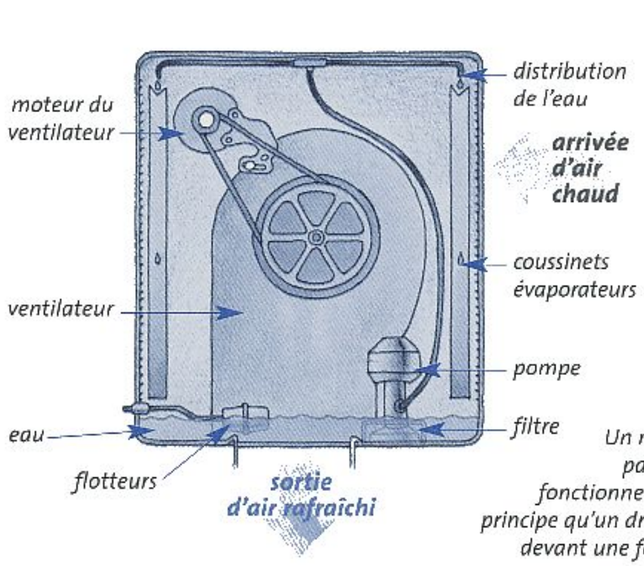
Consommant environ 10 fois moins d'électricité que les climatiseurs classiques et ne comprenant pas de liquide frigorigène, ces appareils sont beaucoup plus économiques et écologiques. Assez répandus dans certains pays, ils ont été jusqu'à présent très peu utilisés en France où ils sont vendus sous le nom de "rafraîchisseurs d'air". Il en existe de deux types : les appareils mobiles, que l'on place à l'intérieur de la pièce à rafraîchir, et les appareils "de fenêtre", encastrés dans un mur et utilisant directement l'air extérieur. Ces derniers sont préférables, car ils utilisent de l'air sec et renouvellent l'air de la pièce.

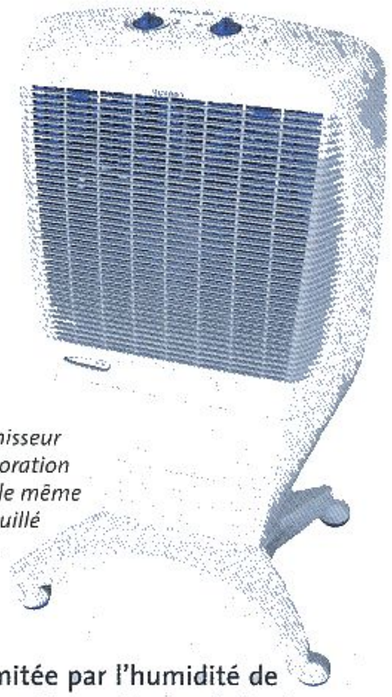
L'inconvénient des rafraîchisseurs par évaporation est d'être peu efficaces lorsque l'air extérieur est humide. Ainsi, si l'air aspiré par l'appareil est à 40 °C, avec un taux d'humidité de 20 %, l'air à la sortie ne sera plus qu'à 23 °C - soit une diminution de 17 °C. Avec un air à 60 % d'humidité, l'abaissement de température n'est plus que de 5,5 °C. Bien adapté sous nos climats, avec en général des chaleurs sèches, ce type d'appareil est moins adapté aux climats à chaleur humide.

Les rafraîchisseurs par évaporation ne prétendent pas abaisser la température de l'air intérieur dans les mêmes proportions qu'un climatiseur classique, mais le léger abaissement de température qu'ils permettent d'obtenir – accompagné d'une augmentation de l'hygrométrie améliorant le confort si l'air est sec – peut être suffisant pour améliorer sensiblement le confort dans une petite pièce. Dans les cas extrêmes, en se plaçant dans le courant d'air frais pulsé par l'appareil, l'effet de rafraîchissement sera encore augmenté.



Température de l'air (en °C) soufflé par un rafraîchisseur par évaporation en fonction de la température et de l'humidité relative de l'air ambiant.
Source : Breezair Europe





Un rafraîchisseur par évaporation fonctionne selon le même principe qu'un drap mouillé devant une fenêtre.

Rafraîchir par évaporation sans humidifier

La technique du rafraîchissement par évaporation est limitée par l'humidité de l'air. Deux techniques encore peu connues permettent de pallier cet inconvénient :

- Le rafraîchissement par évaporation après dessication, qui consiste à dessécher l'air avant de le réhumidifier pour le rafraîchir, au moyen d'une substance absorbante (gel de silice, silicate de titane, polymères, etc.). Celle-ci est ensuite régénérée, c'est-à-dire réhydratée, par une source de chaleur, qui peut être le soleil par l'intermédiaire de capteurs thermiques[1].
- Le rafraîchissement par évaporation indirecte : l'air rafraîchi par humidification passe à travers un échangeur de chaleur. De là, une partie de l'air, saturée en humidité, est rejetée à l'extérieur, tandis que l'autre, restée sèche, est renvoyée ans le local à rafraîchir. Le potentiel de rafraîchissement se trouve ainsi considérablement augmenté.

[1] *Le nouveau bâtiment de l'ASDER à Chambéry a le projet d'utiliser ce système.*

Les fontaines à ruissellement

Mettez une cascade dans votre séjour

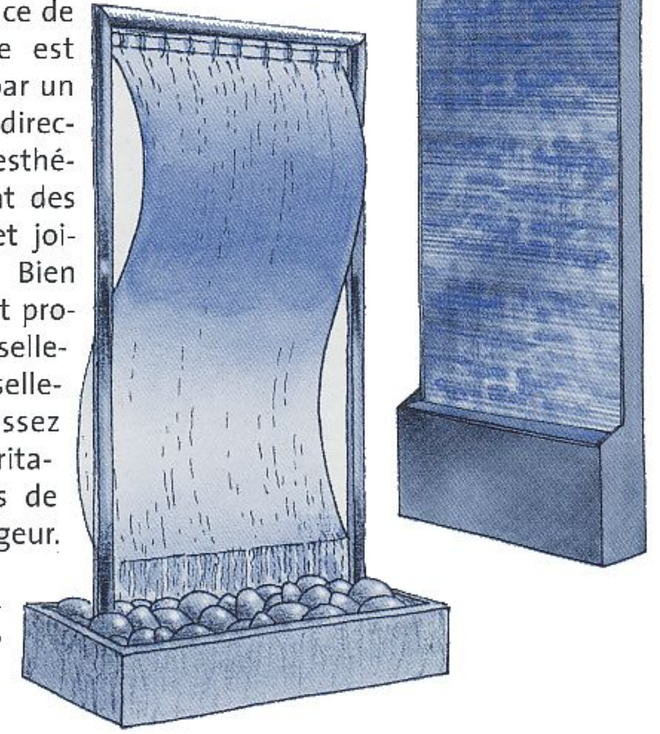
Humidification et santé

Les humidificateurs, les brumisateurs et les fontaines exigent un entretien régulier pour éviter tout développement de bactéries : il est nécessaire de changer l'eau après une période d'arrêt, et de nettoyer régulièrement le bac contenant l'eau. Des conseils d'entretien sont fournis avec les appareils.

À l'intérieur comme à l'extérieur, la présence d'eau donne toujours une sensation de fraîcheur. Liée à la simple vue de l'eau, cette impression existe même en l'absence d'impact notable sur la température. Le rafraîchissement devient effectif lorsque l'évaporation est suffisamment importante.

Typique des patios des pays méditerranéens, la présence d'eau en mouvement peut également être introduite dans la maison grâce à des fontaines ou à des "murs d'eau".

Certains modèles de **fontaines d'intérieur** – encore difficiles à trouver en France – sont des moyens méconnus de rafraîchir par évaporation. Leur principe est de faire ruisseler de l'eau le long d'une surface, généralement métallique, ou parfois sur de la pierre. L'eau, présente dans un bac situé à la base de la fontaine, est amenée à l'aide d'une petite pompe immergée en haut de la surface sur laquelle elle ruisselle. Le tout fonctionne en circuit fermé. L'évaporation – et donc le rafraîchissement – est d'autant plus important que la surface de ruissellement est grande. Elle est encore augmentée si l'on crée, par un ventilateur, un courant d'air en direction de la fontaine. Souvent très esthétiques, ces fontaines constituent des éléments décoratifs originaux et joignent ainsi l'utile à l'agréable. Bien entendu, l'effet rafraîchissant est proportionnel à la surface de ruissellement. Certaines fontaines à ruissellement – malheureusement assez coûteuses – constituent de véritables "murs d'eau" de 2 mètres de hauteur et de 1 à 2 mètres de largeur.

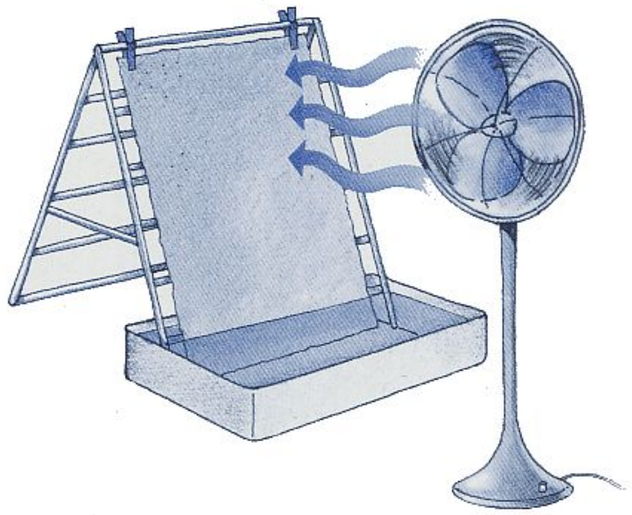


Deux modèles de fontaine à ruissellement.

Presque la clim' pour pas un rond !

Trucs et astuces évaporatifs

• Une bassine, une serviette éponge et un ventilateur, cela suffit pour improviser un rafraîchisseur par évaporation ! Il suffit de remplir la bassine d'eau, d'y tremper la serviette, de la poser sur un séchoir d'intérieur ou sur un dossier de chaise et de laisser sa partie inférieure baigner dans l'eau. Le ventilateur, placé devant, provoquera une évaporation rapide de l'eau et donc un rafraîchissement. Il faudra évidemment remouiller la serviette de temps en temps. Sans prétendre à l'efficacité d'un rafraîchisseur du commerce, cette méthode de fortune peut suffire à abaisser la température de l'air d'environ 2 °C, voire davantage dans une pièce de petites dimensions et dont les parois ont peu d'inertie.



La méthode du drap mouillé étendu devant une fenêtre ouverte, ou devant un ventilateur, a aussi depuis longtemps fait ses preuves. Il faut simplement veiller à réhumidifier le drap lorsqu'il est sec. On peut le faire en projetant de l'eau dessus avec une bouteille ou, mieux, avec un pulvérisateur de jardin.

Le drap peut être remplacé par une couverture, qui absorbera davantage d'eau, ou encore par une ou deux serviettes de bain. On peut également humidifier le sol s'il s'agit d'un carrelage, soit avec le même pulvérisateur que précédemment, soit tout simplement en passant dessus une serpillière non essorée. Enfin on peut aussi humidifier légèrement les vêtements ou directement le corps avec un brumisateur.

En Arizona, région désertique au climat estival chaud et sec, dans les années 1920 – bien avant l'arrivée de la climatisation – on dormait en été sous des porches ou sur des terrasses. Pendant les périodes les plus chaudes, on suspendait à l'extérieur de ces espaces des draps ou des couvertures préalablement trempées dans l'eau et on plaçait des ventilateurs de manière à obliger l'air de la nuit à traverser les tissus mouillés en direction des dormeurs.

11 Produire du froid avec une machine frigorifique

Nous avons vu comment rafraîchir l'air intérieur par une saine conception des bâtiments, en se protégeant de la chaleur extérieure et des apports internes, ou grâce à des dispositifs simples de ventilation ou utilisant l'évaporation. Mais ces stratégies ne sont parfois pas possibles, comme dans le cas de bâtiments existants mal conçus ou de locaux recevant des apports internes irréguliers et importants. La température intérieure peut alors dépasser le seuil d'inconfort, et il devient nécessaire de produire du froid au moyen d'une machine frigorifique. Il est bien sûr souhaitable de le faire au moindre impact énergétique et environnemental.

Principes, techniques et appareils

Plusieurs systèmes permettent de produire et de distribuer du froid.

L'utilisation directe d'une **source de froid** située à proximité du local à rafraîchir est généralement, lorsqu'elle est possible, une solution à faible impact environnemental : on peut ainsi, au moyen d'un échangeur, puiser du froid dans un lac, un cours d'eau ou une nappe phréatique. Cette technique, largement répandue dans les pays scandinaves, est presque inconnue en France. Elle est plutôt réservée, sauf cas particuliers, à des installations de moyenne et de forte puissance.

L'utilisation d'une machine frigorifique de type **pompe à chaleur** (en abrégé PAC) permet de transférer de la chaleur depuis l'intérieur des locaux, qui se refroidissent, vers l'extérieur. Deux grands systèmes coexistent : les machines à **compression** (de très loin les plus courantes), ou les machines à **absorption**.

Les systèmes à **compression** fonctionnent avec un cycle thermodynamique analogue à celui d'un réfrigérateur : un fluide frigorigène produit du froid lors de son évaporation, puis est compressé avant de se condenser et, à pression plus faible, de s'évaporer de nouveau. La consommation d'énergie électrique correspond à celle du compresseur, mais aussi à celle des autres moteurs du système (pompes de circulation, ventilateurs).

On distingue :

- les systèmes " à détente directe ", où l'évaporateur est placé directement dans le local à rafraîchir (c'est le cas des climatiseurs monobloc split et de certains systèmes de capteurs géothermiques) ;
- les systèmes à distribution du froid par un circuit d'eau (pompes à chaleur réversibles le plus souvent) ;

Les différents systèmes de production et de distribution du froid.

Famille	*Principe*	*Nom du système*	*Type d'émission du froid*	*Utilisation*
Source froide				
Utilisation directe d'une source froide (rivière, lac)	Échangeur		Tous types	Résidentiel ou tertiaire
Machine frigorifique à compression				
Système à détente directe où l'évaporateur est placé directement dans le local à rafraîchir	Cycle thermodynamique de type PAC air/air	Climatiseurs à un seul élément : climatiseur de fenêtre (Window) climatiseur mobile individuel climatiseur monobloc	Échange par convection par brassage de l'air rafraîchi après passage dans l'évaporateur	Résidentiel
		Climatiseurs à éléments séparés : système monosplit (une unité extérieure et une unité intérieure) système multisplit (une unité extérieure sur plusieurs unités intérieures) système gainable (une unité extérieure et des points de diffusion)		Résidentiel ou tertiaire
Distribution par circuit d'eau	PAC avec capteurs enterrés dans le sol	PAC sol/sol	Rayonnement par plancher rafraîchissant parcouru par un fluide frigorigène	Résidentiel
	PAC sur nappe aquifère	PAC eau/eau	Rayonnement par plancher ou plafond rafraîchissant à eau Convection par ventilo-convecteur ou poutres froides	Résidentiel ou tertiaire
	PAC avec capteurs enterrés dans le sol	PAC sol/eau		
	PAC sur air extérieur	PAC air/eau		
Distribution par circuit d'air	PAC	PAC eau/air	Distribution par gaines en plafond et soufflage	Résidentiel
	Système complet de traitement de l'air	CTA (centrale de traitement d'air)		Grands locaux tertiaires
Machine frigorifique à absorption				
	Cycle à absorption	Machine à absorption au gaz naturel	Le plus souvent distribution par circuit d'eau	Tertiaire ou résidentiel supérieur à 20 kW
		Climatisation solaire par absorption		Tertiaire

➧ enfin les systèmes à distribution d'air sur une pompe à chaleur réversible, ou avec une centrale de traitement d'air (CTA).

Les machines à **absorption** produisent du froid avec du chaud. Ce paradoxe est possible par association d'un corps frigorigène, d'un corps absorbant " avide " du frigorigène et d'un chauffage dissociant de nouveau ces deux corps. La consommation d'énergie est celle du chauffage, et il n'y a pas de pièces en mouvement, contrairement aux machines à compression. Les réfrigérateurs à absorption des camping-cars ou des bateaux de plaisance fonctionnent selon ce principe.

Rafraîchissement, climatisation ou air conditionné ?

Le terme de **rafraîchissement** est employé pour un abaissement de température par un dispositif n'assurant pas nécessairement un contrôle permanent de la température souhaitée. On parle ainsi de rafraîchissement par renouvellement de l'air intérieur par un air extérieur plus frais, ou par rayonnement depuis une paroi froide.

Lorsque la source de froid est prise sur l'environnement, on utilise souvent le terme anglais de ***free cooling***.

La **climatisation** consiste à refroidir – ou éventuellement à chauffer – l'air intérieur par une machine frigorifique permettant le contrôle de la température désirée. Une climatisation refroidit donc l'air ambiant sans contrôle sur le taux d'humidité : si la température intérieure atteint le point de rosée, l'installation génère des condensats qui doivent être évacués.

Enfin une installation d'**air conditionné** contrôle à la fois la température (par chauffage et/ou rafraîchissement) et l'hygrométrie de l'air ambiant (par humidification ou déshumidification). Ce type d'installation est plutôt réservé aux processus industriels nécessitant une ambiance bien déterminée, ou aux locaux tertiaires.

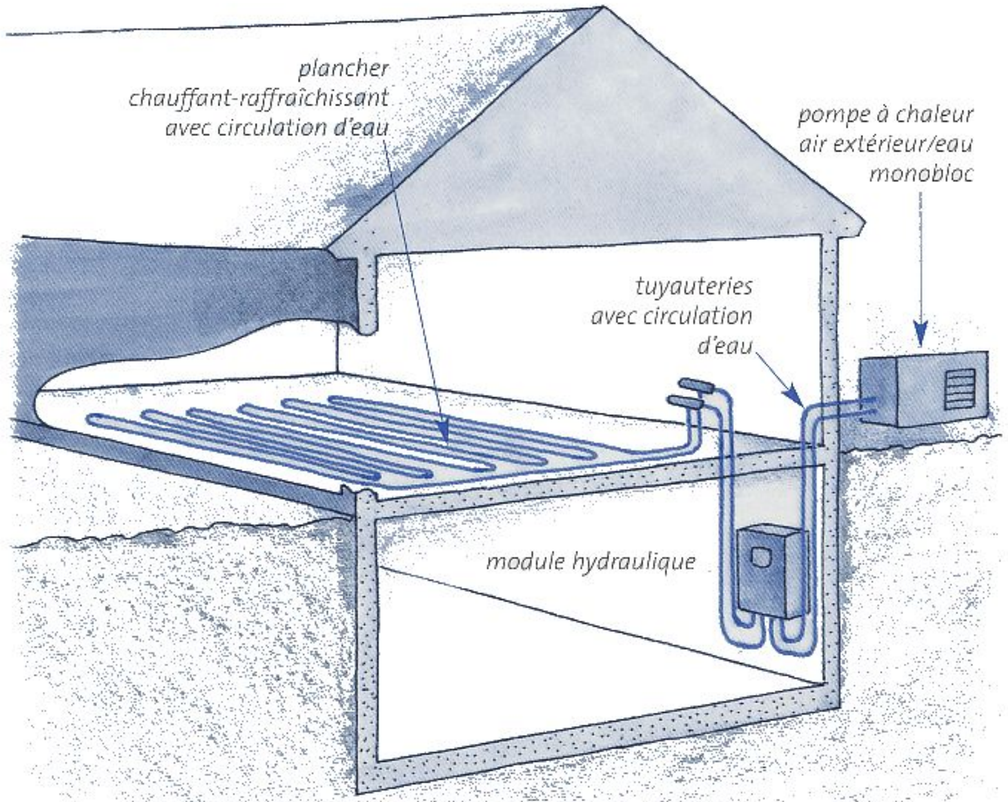
Les pompes à chaleur réversibles

Une " pompe à chaleur " (PAC) est une machine thermique qui permet de transférer de la chaleur entre deux milieux.

En mode chauffage, elle prélève la " chaleur " contenue dans l'air extérieur ou dans le sol pour la transférer à l'intérieur d'un logement, et donc le réchauffer.

Certaines PAC peuvent fonctionner de manière inverse, c'est-à-dire en " pompant " la chaleur de l'habitat vers l'extérieur afin de le rafraîchir. Le fluide tourne alors en circuit inverse : on parle dans ce cas de pompe à chaleur réversible. Ce sont de telles PAC réversibles que l'on utilise pour rafraîchir ou climatiser des locaux ou une habitation.

Pour caractériser les pompes à chaleur, on se réfère aux deux milieux entre lesquels la chaleur est transférée. Ainsi, si la chaleur est prise dans l'air extérieur pour être transférée dans l'air du logement, on parle de PAC air/air. Si la chaleur est captée dans le sol par des capteurs enterrés avant d'être transférée dans l'eau circulant dans un plancher chauffant-rafraîchissant, on parle de PAC sol/eau.



Circuit d'une pompe à chaleur réversible air/eau avec plancher rafraîchissant.

Les machines à absorption

Une machine frigorifique à absorption n'utilise pas la compression d'un fluide mais l'affinité de deux corps, appelés agents :

- un agent frigorigène (comme l'eau) ;
- un agent absorbeur " avide " de l'agent frigorigène (comme le bromure de lithium).

Lorsque ces deux corps sont mis en présence, la réaction produit du froid. Pour dissocier le mélange, il faut fournir de la chaleur afin de séparer les deux agents par ébullition à 95 °C.

Au Japon (où elle équipe 50 % des immeubles du tertiaire), aux États-Unis (30 % des équipements), dans de nombreux pays européens, la climatisation par absorption est beaucoup plus courante qu'en France.

Les appareils ont été grandement améliorés, et on commence à commercialiser des machines à absorption de puissance plus réduite, adaptées à des surfaces à climatiser à partir de 150 mètres carrés.

Si on peut produire de la chaleur par un système sans pollution ni émission, comme des capteurs solaires sous vide, il est alors possible de produire du froid avec un très faible impact environnemental : peu d'électricité, peu de bruit, pas de fluide frigorigène. Il s'agit dans ce cas d'un système de climatisation particulièrement écologique.

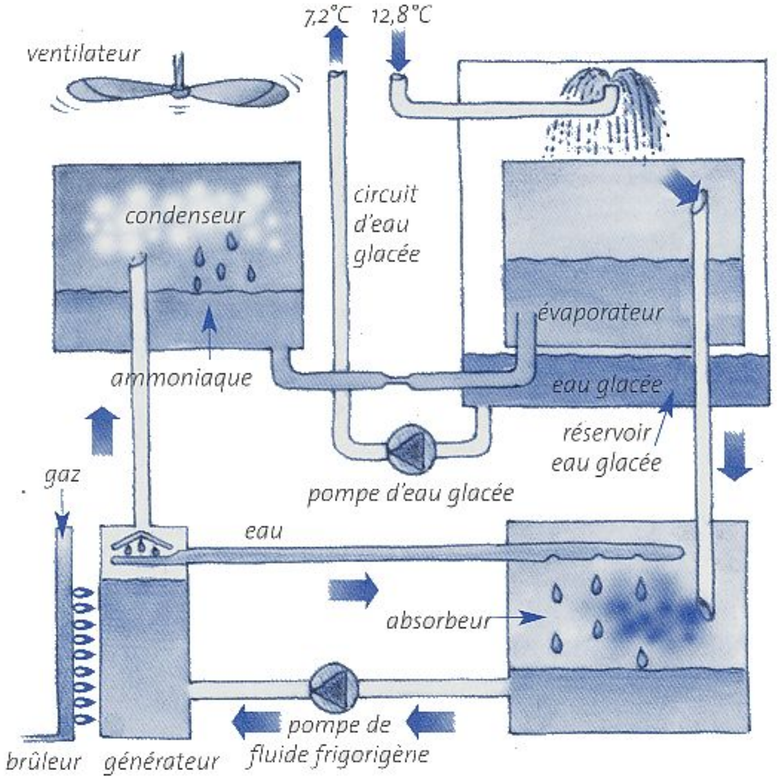


Schéma d'une machine à absorption.

Rendement et consommation d'énergie

PAC, COP et EER : des sigles à décrypter

L'efficacité d'un appareil de rafraîchissement est mesurée par un coefficient de performance nommé EER[1] qui représente le rapport entre la puissance " froid " fournie et la puissance électrique consommée. Si, lors de son utilisation, un appareil fournit 5 kW de froid alors qu'il n'a besoin que de 2 kW électriques, son EER est de 5/2 = 2,5.

L'efficacité d'un appareil produisant du chauffage est exprimée par le COP, rapport entre la puissance " chaleur " fournie et la puissance électrique consommée. Si un appareil fournit 6 kW de chaleur alors qu'il n'utilise, dans le même temps, que de 2 kW électriques pour fonctionner, son COP est de 6/2 = 3.

Un convecteur électrique a un COP très proche de 1 : toute l'énergie électrique consommée par le convecteur est convertie en chaleur. Une pompe à chaleur peut fournir plus de chaleur qu'elle n'a besoin d'énergie pour fonctionner : son COP est nettement supérieur à 1, de l'ordre de 2 à 4.

Les fabricants indiquent les coefficients EER et COP " usine ", valables dans des conditions bien précises. Les coefficients moyens sur une période d'utilisation

[1] *EER signifie Energy Efficiency Ratio, ratio d'efficacité énergétique. Les documentations indiquent souvent COP au lieu de coefficient EER. On parle aussi de COPf ou COPfroid.*

$$EER = \frac{\text{Froid fourni à la pièce à rafraîchir}}{\text{Énergie électrique consommée}}$$

$$COP = \frac{\text{Chaleur fournie à la pièce à chauffer}}{\text{Énergie électrique consommée}}$$

sont moins élevés, car, pour faire un bilan énergétique complet, il convient de tenir compte aussi de la consommation des différents auxiliaires : circulateurs, pompes, ventilateurs.

Ces coefficients ne permettent donc pas de calculer la consommation réelle, mais ils sont utiles pour comparer différents équipements dans des conditions identiques de fonctionnement, exactement comme l'on compare les consommations spécifiques de différentes voitures pour des parcours bien définis, urbain, routier ou mixte.

Pompes à chaleur (PAC) et énergies non renouvelables

Puisque les PAC ou les climatiseurs réversibles "pompent", en mode chauffage, de la chaleur depuis l'air extérieur ou le sol, on considère souvent qu'ils font partie des techniques utilisant les énergies renouvelables.

Les publicités des fabricants renforcent à l'envi cette appréciation. Qu'en est-il exactement ?

Une PAC, de même qu'un climatiseur, a besoin de comprimer un fluide pour fonctionner. Cette énergie motrice nécessite l'emploi d'une énergie noble, l'énergie électrique. Le plus souvent, celle-ci est produite à partir d'énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) ou fissile (nucléaire) dans une centrale électrique, et elle doit être distribuée par le réseau sur une longue distance. Production et acheminement impliquent des pertes et des impacts environnementaux : une PAC "pompe" bien une énergie renouvelable, mais elle a besoin pour cela d'une énergie le plus souvent non renouvelable...

C'est donc le bilan énergétique complet depuis la production jusqu'à l'utilisation qu'il faut considérer pour apprécier l'intérêt écologique d'une pompe à chaleur.

Comparons les quatre solutions suivantes : une machine à absorption au gaz (EER moyen = 0,70) ; un climatiseur air/air (EER moyen = 2,75) dont l'électricité est produite soit par une centrale gaz à cycle combiné, soit par une centrale thermique classique au gaz, soit par une centrale nucléaire.

Moteur électrique ou au gaz ?

Presque tous les appareils à cycle thermodynamique utilisent un moteur électrique pour entraîner le compresseur du circuit frigorigène.

Quelques industriels, essentiellement japonais, fabriquent cependant des appareils fonctionnant avec un moteur à gaz pour le résidentiel et le petit tertiaire. Ces équipements multisplit sont plutôt réservés aux puissances supérieures à 18 kW.

L'intérêt environnemental de la compression par un moteur au gaz dépend donc de l'origine de l'électricité fournie : elle peut être intéressante si la production électrique génère des déchets dangereux (production nucléaire) ou des émissions importantes (centrales thermiques).

Si l'électricité est produite par une centrale électrique thermique ou nucléaire[2] (cas du parc actuel en France), la consommation d'énergie primaire d'une machine à absorption gaz est sensiblement égale à celle d'une machine utilisant un cycle à compression : le faible rendement de l'utilisation de l'énergie primaire n'est pas compensé par l'efficacité du cycle thermodynamique.

Seule une machine à compression dont l'électricité serait produite par une centrale électrique très performante (gaz à cycle combiné) fournit plus d'énergie pour rafraîchir qu'elle ne consomme d'énergie primaire.

Pour une même fourniture de froid, tout dépend donc de la façon dont l'électricité nécessaire à la compression est produite.

On le voit, une PAC ou un climatiseur dont le compresseur utilise l'électricité du réseau n'est pas un équipement utilisant les énergies renouvelables : son utilisation consomme en fait plus d'énergie fossile qu'elle ne prélève d'énergie " renouvelable " dans l'air ou le sol !

Comparaison de la consommation d'énergie primaire de différents systèmes.

	Absorption gaz	*Climatiseur air/air*	*Climatiseur air/air*	*Climatiseur air/air*
Origine de l'électricité		centrale gaz cycle combiné	centrale thermique gaz	centrale nucléaire
Énergie fournie au local à rafraîchir	100	100	100	100
EER moyen en exploitation	0,70	2,75	2,75	2,75
Énergie consommée	143	36	36	36
Énergie captée sur l'environnement		64	64	64
% de pertes réseau électrique		15 %	15 %	15 %
Rendement de la centrale électrique		55 %	38 %	33 %
Énergie primaire fournie à la centrale de production électrique		76	110	127
Pertes sur extraction, transport, raffinage	10 %	10 %	10 %	10 %
Énergie primaire fossile ou fissile consommée	147 gaz	84 gaz	121 gaz	139 uranium
EER global (Énergie produite sur énergie primaire fossile ou fissile nécessaire)	0,68	1,20	0,83	0,72

[2] *Le rendement thermodynamique d'une centrale nucléaire PWR n'est que de 33 %, et de 35 % pour une centrale EPR.*

Fluides " verts " : publicité abusive ?

Les fluides réfrigérants et l'environnement

Il n'est pas possible de réduire totalement les émissions des fluides utilisés dans une PAC ou un climatiseur. Par nature très volatils, ils s'échappent dans l'atmosphère par les microfuites des circuits et des joints, lors des opérations de maintenance et en fin de vie des appareillages.

Ces fluides ont alors des effets considérables sur notre environnement, tant sur la couche protectrice d'ozone dans la haute atmosphère que sur l'augmentation de l'effet de serre. Et aucune solution totalement sans impact n'existe à ce jour.

Le fréon (nom technique : R12) est le fluide qui a été le plus utilisé jusqu'à fin 1994. Malgré ses très bonnes caractéristiques frigorifiques, ce fluide de la famille des chlorofluorocarbones (CFC) a deux inconvénients majeurs : c'est un puissant gaz à effet de serre, et le chlore qu'il contient contribue très fortement à détruire la couche d'ozone de la stratosphère : une seule molécule de chlore peut détruire

Comparaison des usages et de l'impact environnemental des fluides frigorigènes [11].

Code	*Nom usuel ou formule*	*Famille*	*Utilisation*	*Impact sur l'effet de serre (GPW)*[3]	*Impact sur la couche d'ozone (ODP)*[4]	*Durée de vie*	*Usage*	*Réglementation au 1er janvier 2004*
R11	CCl_3F	CFC	Climatiseur	4 600	1	45 ans	Les plus courants entre 1930 et 1990	Interdit d'usage depuis 2001
R12	Fréon		Climatiseur voiture	10 600	1	100 ans		
R22	$CHClF_2$	HCFC	Climatiseur	1 700	0,055	12 ans	En substitution au R12	Interdit sur les appareils neufs début 2004 [12]
R134a	CH_2FCF_3	HFC	Climatiseur froid voiture	1 300	0	14 ans	Fluide le plus courant actuellement	Autorisé... pour le moment
R407c	Mélange de 3 HFC		Climatiseur	1 610	0		Petit tertiaire	
R410a	Mélange de 3 HFC		Climatiseur	1 890	0		Domestique	

3 Pouvoir de réchauffement global à 100 ans (PRG ou GPW), sur la base de 1 pour le gaz carbonique.

4 Ozone Depletion Potentiel (ODP). 0 = aucun effet, 1 = effet du R12.

50 000 à 100 000 molécules d'ozone. Très stable – sa durée de vie est de l'ordre de 100 ans – le R12 émis dans l'atmosphère va donc contribuer pour des décennies encore à détruire la couche d'ozone et à augmenter l'effet de serre.

La fabrication des CFC (R11, R12, R115) est heureusement interdite depuis fin 1994, et leur utilisation l'est depuis 2001 par une directive européenne.

Des fluides de substitution sont tout d'abord apparus, comme les HFCF, qui sont également des composés chlorés à effet sur la couche d'ozone. C'est pourquoi, depuis janvier 2002, il est interdit de produire des appareils de froid seul les utilisant. Cette interdiction a été étendue depuis janvier 2004 aux appareils réversibles.

On utilise maintenant principalement le R134a, un HFC (hydrofluorocarbone). Sans chlore et donc sans effet sur la couche d'ozone, le R134a est cependant un gaz à effet de serre très actif : un seul kilogramme de R134a a le même effet que l'émission de 1,3 tonne de gaz carbonique.

Enfin, ces dernières années, d'autres fluides HFC, souvent baptisés abusivement " verts ", apparaissent en substitution du R134a, comme le R407c ou le R410a : ils ont aussi un impact équivalent (voire supérieur !) sur l'effet de serre.

Les problèmes environnementaux causés par les fluides frigorigènes sont donc à la fois considérables et non résolus.

Rafraîchir en soufflant de l'air frais

Les climatiseurs, les ventilo-convecteurs, les centrales de traitement d'air rafraîchissent par convection en brassant ou en insufflant dans la pièce de l'air rafraîchi.

Avec un **climatiseur**, l'air du local est refroidi directement au contact de l'évaporateur, un peu de la même façon qu'avec un convecteur électrique, où l'air est réchauffé au contact d'une résistance électrique.

Un autre dispositif est le **ventilo-convecteur**, qui comprend un filtre, un ventilateur et un ou plusieurs échangeurs air/eau alimentés par un dispositif extérieur de rafraîchissement (ou de chauffage). L'air de la pièce est rafraîchi lors de son passage dans un échangeur à eau fraîche (batterie d'eau glacée), elle-même refroidie par une machine frigorifique disposée hors de la pièce à climatiser.

Une autre technique consiste à insuffler l'air préalablement rafraîchi par des **gaines installées au plafond**.

Une variante, surtout adaptée aux bureaux, consiste enfin à installer en plafond des " **poutres froides** ", réunissant un échangeur à eau glacée et des dispositifs de soufflage sur toute la longueur d'un plafond.

Tous ces dispositifs présentent, outre leur coût souvent élevé, quatre inconvénients :

- l'équipement peut être plus ou moins bruyant selon la qualité du matériel et de

l'installation car le ventilateur de brassage est intégré à l'unité installée dans le local à rafraîchir (climatiseur, ventilo-convecteurs, poutres froides), ou bien il peut être audible par les gaines de distribution ;

➧ l'air est rafraîchi à une température inférieure à celle de la pièce. Conjugué avec un soufflage directionnel, cela peut engendrer des courants d'air désagréables ;

➧ l'air de la pièce est brassé en permanence, ce qui a tendance à maintenir des poussières en suspension dans l'air malgré la présence d'un filtre ;

➧ enfin il faut veiller à rester fenêtres et portes fermées !

La ventilation par déplacement

Afin de pallier les inconvénients du soufflage direct de l'air rafraîchi, une nouvelle technique se développe, la ventilation par déplacement. Elle consiste à insuffler à basse vitesse de l'air légèrement refroidi au niveau du sol. Plus froid, donc plus lourd que l'air ambiant, l'air soufflé ne se mélange pas avec celui-ci et se répartit sur toute la surface du plancher, formant une nappe froide. Au contact avec une source de chaleur intérieure (personnes, appareils), cet air est réchauffé puis entraîné thermiquement en partie haute, où l'air vicié est ainsi ponctuellement remplacé par de l'air neuf.

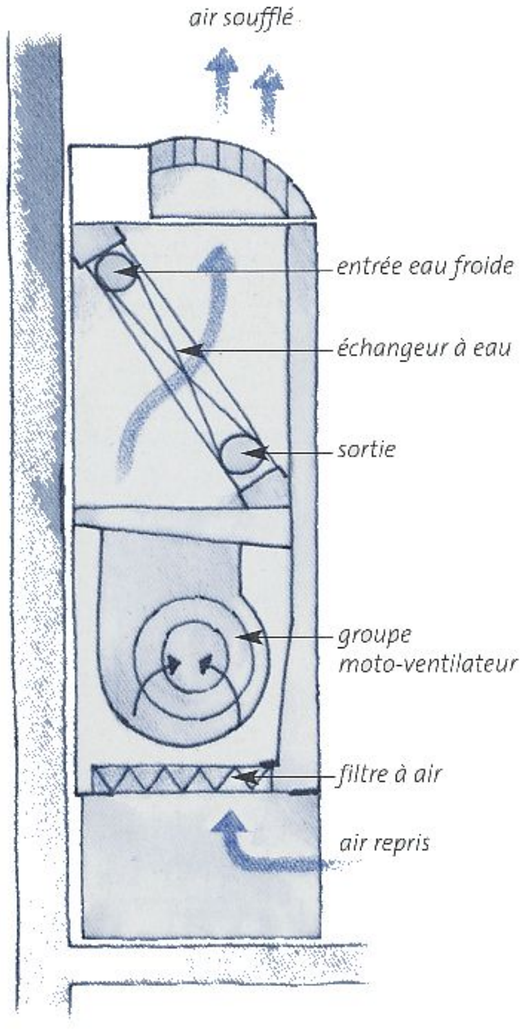


Schéma d'un ventilo-convecteur.

Les parois rafraîchissantes

Au lieu de rafraîchir l'air, on peut rafraîchir une paroi, c'est-à-dire le plancher, le plafond ou même un ou plusieurs murs.

Pour cela on intègre dans cette paroi un réseau de tuyaux dans lesquels circule de l'eau[5]. Cette dernière peut provenir d'une source naturelle (puits, nappe phréatique, rivière) ou d'une machine frigorifique. Le refroidissement se fait alors par rayonnement à partir de cette paroi rafraîchie et non plus uniquement par convection, comme dans les systèmes précédents.

Comme un plancher chauffant, ce type d'émetteur a de multiples avantages :

> il permet tout d'abord d'obtenir un excellent confort car les températures sont très homogènes : il n'y a pas, comme c'est le cas avec un climatiseur, de point froid ni de brassage d'air générateur de courants d'air incommodants ;

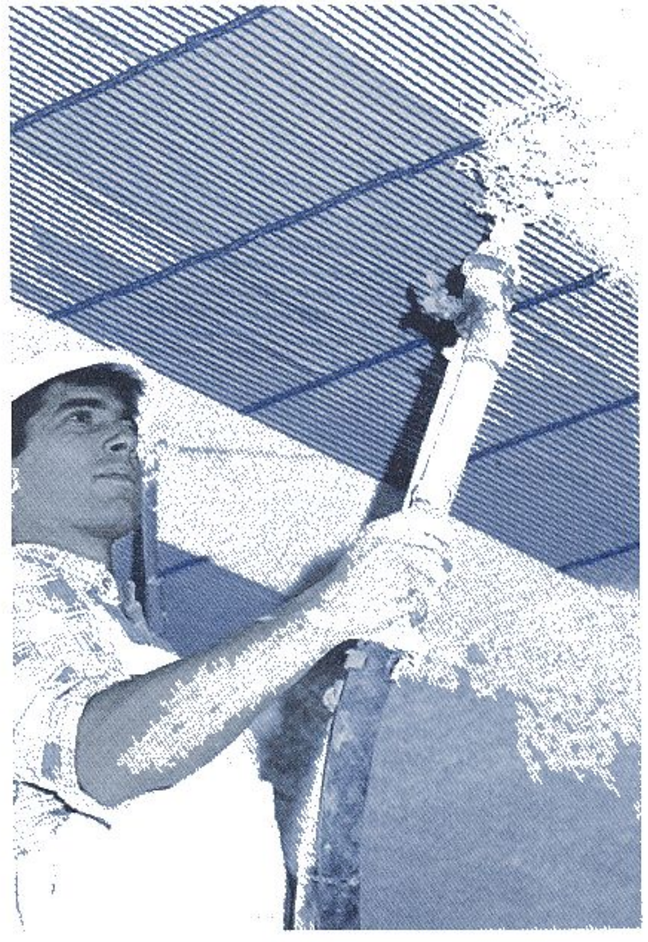
> aucun appareillage n'est à installer dans le volume à rafraîchir : tout le volume de la pièce est laissé libre pour l'aménagement intérieur ;

> aucun bruit gênant : l'équipement est parfaitement silencieux ;

> la qualité de l'air est meilleure, avec moins de poussières en suspension dans l'air ;

> l'ouverture d'une fenêtre ou d'une porte est moins gênante qu'avec un système de soufflage à air : la masse thermique du plancher contribue à maintenir un rayonnement rafraîchissant sans fortes perturbations ;

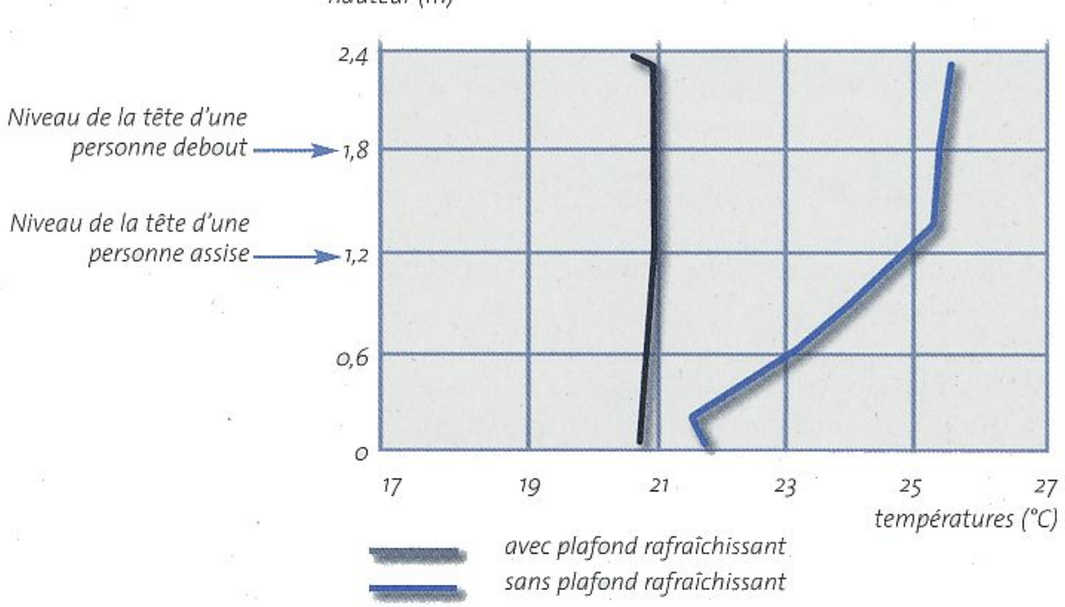
> enfin, l'entrée d'air neuf ne nécessite pas de système spécifique de ventilation.



Pose d'un plafond rafraîchissant.

5 *Ou un liquide réfrigérant dans les systèmes à détente directe.*

Avec un plafond rafraîchissant, les températures sont très stables sur toute la hauteur de la pièce.



Le plancher rafraîchissant a cependant ses limites, surtout dans les régions chaudes et humides : pour éviter les condensations à la surface du plancher, la température minimale de l'eau au départ du circuit doit être comprise entre 18 °C (centre de la France) et 22 °C (zone côtière méditerranéenne)[6]. L'abaissement de température dans la pièce à rafraîchir sera donc limité par cette contrainte.

6 *Prescriptions du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) relatives à la conception et à la mise en œuvre des planchers réversibles à eau basse température.*

Le climatiseur, solution-miracle ?

Les climatiseurs domestiques

Le climatiseur domestique se présente sous plusieurs formes.

Les **appareils monoblocs** réunissent en un seul appareil la fonction de captation et d'évacuation de la chaleur.

On peut les encastrer dans un mur donnant sur l' extérieur (climatiseur " window") ou les installer sur l'appui d'une fenêtre. Ces appareils sont classiquement utilisés en milieu urbain et ornent bruyamment les façades des grandes villes dans le monde entier.

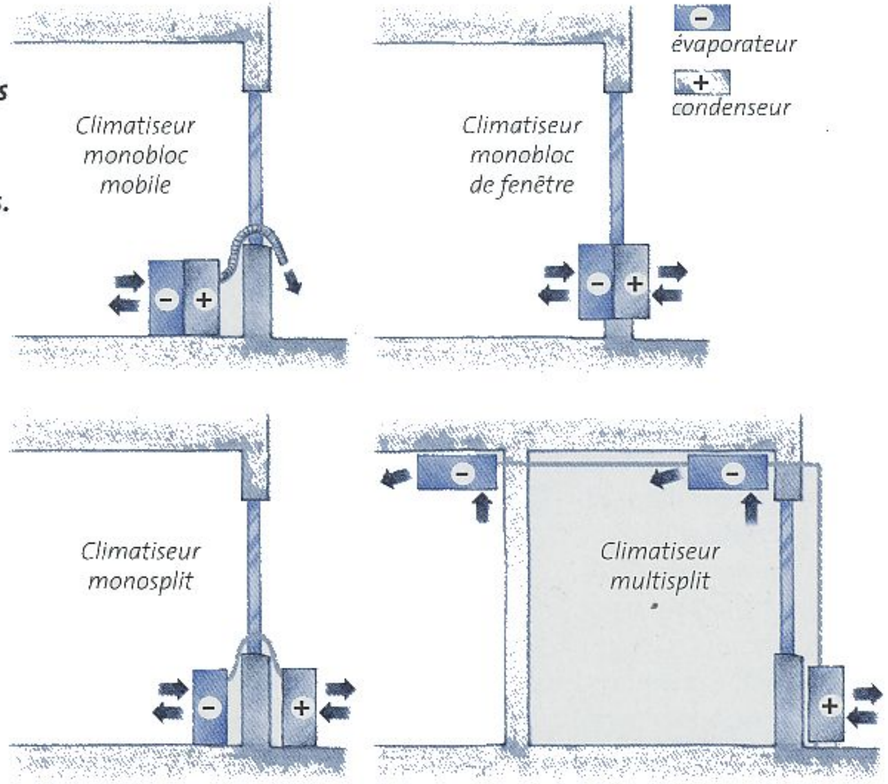
Un autre modèle d'appareil monobloc est **mobile**, muni d'un tuyau d'évacuation de la chaleur. Ces appareils ont pour avantage leur mobilité et leur simplicité d'installation, mais pour inconvénient majeur l'obligation de laisser une fenêtre partiellement ouverte pour évacuer la chaleur par le tuyau : entre l'air chaud qui pénètre par la fenêtre et celui que l'on évacue, le bilan est médiocre, et leur rendement effectif est donc assez faible. Une variante plus efficace consiste à aménager dans une fenêtre une trappe de sortie pour le tuyau.

Les appareils **split system** sont constitués de deux parties : une unité placée à l'extérieur (comprenant le condenseur, le compresseur et un ventilateur), et une unité nommée souvent "diffuseur", placée directement dans le local à refroidir (comprenant l'évaporateur et un autre ventilateur). Ces deux unités sont reliées entre elles par des tuyauteries isolées dans lesquelles circule un fluide frigorigène.

Les appareils split présentent de nombreux avantages sur les monoblocs. Le compresseur étant à l'extérieur, seul le bruit du ventilateur brassant l'air rafraîchi subsiste dans la pièce climatisée. Le condenseur étant également à l'extérieur, la chaleur interne peut être évacuée toutes fenêtres fermées. Enfin, l'installation ne provoque pas de pertes de chaleur par les murs, comme peut le faire un climatiseur "window" nécessairement moins isolé que la paroi où il est inséré.

Lorsque l'on a plusieurs pièces à climatiser, il est possible de relier un seul équipement extérieur à plusieurs cassettes intérieures : on parle alors de climatiseur **multisplit**.

Les différents types de climatiseurs domestiques.



Un climatiseur, comment cela marche ?

Dans votre réfrigérateur, un fluide évacue la chaleur de l'intérieur vers l'arrière de celui-ci, c'est-à-dire de l'**évaporateur** (la plaque froide à l'intérieur du réfrigérateur) vers le **condenseur** (la grille chaude au dos).

Un climatiseur fonctionne exactement de la même manière : un circuit rempli d'un gaz spécial, appelé fluide réfrigérant, capte la chaleur de la pièce à climatiser au niveau de l'évaporateur, puis la rejette au-dehors par le condenseur placé à l'extérieur.

Un climatiseur est donc une pompe à chaleur air/air, transférant de l'énergie depuis l'air intérieur vers l'air extérieur. Dans certaines installations, le fonctionnement inverse est possible : ces appareils peuvent prendre de la chaleur à l'extérieur pour réchauffer le logement. L'évaporateur devient le condenseur, et le condenseur l'évaporateur. La fonction de refroidissement se double d'une fonction de chauffage, et l'on parle alors de **climatisation réversible**.

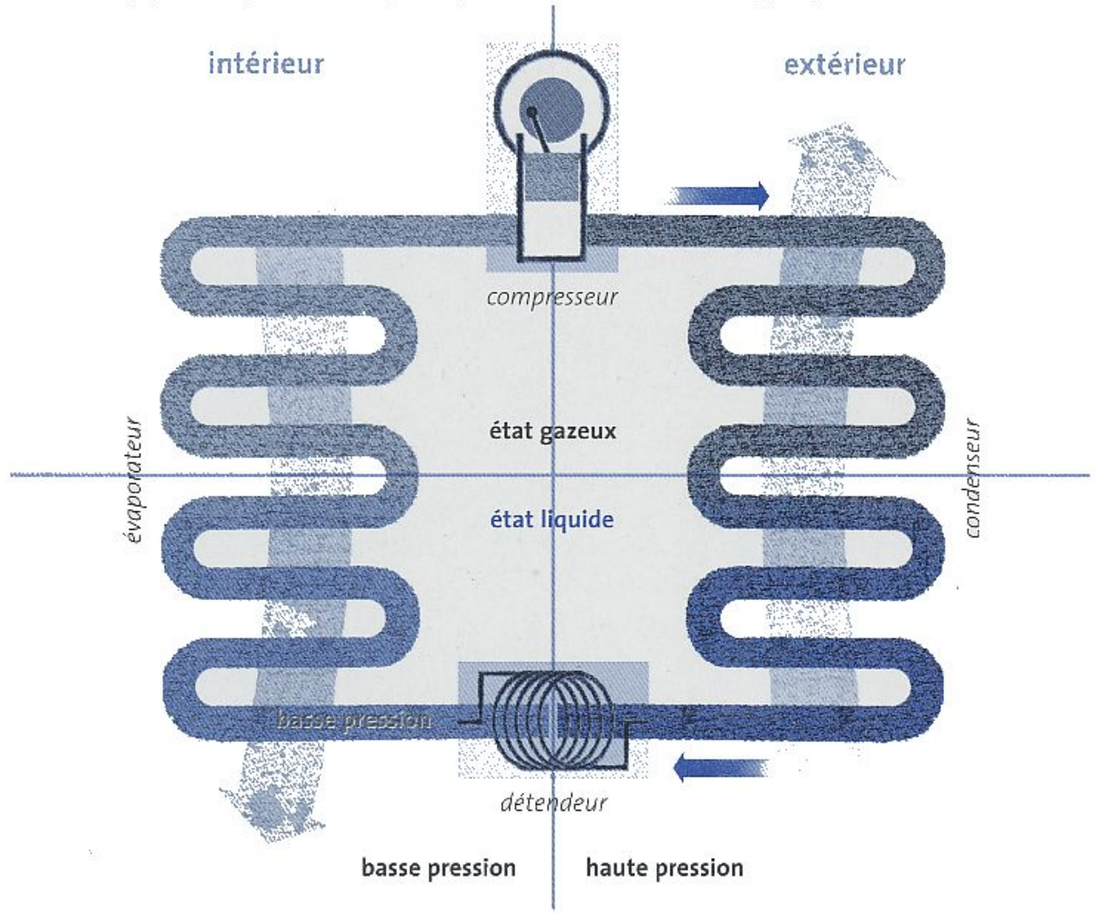
Pour qu'un climatiseur fonctionne, il faut compresser et mettre en mouvement le fluide réfrigérant, brasser l'air dans la pièce à climatiser et ventiler pour refroidir le condenseur extérieur : toutes ces fonctions consomment de l'électricité.

L'électricité ne sert donc pas à produire directement du froid, ou de la chaleur, mais à permettre un transfert de chaleur afin de rafraîchir ou de chauffer.

Le cycle à quatre temps d'un climatiseur domestique

Avec un climatiseur, le fluide, liquide et froid, parvient à basse pression dans la pièce à climatiser, où il se réchauffe et s'évapore dans l'évaporateur sous l'action de la chaleur régnant dans la pièce à rafraîchir. Il circule ensuite sous forme gazeuse jusqu'au compresseur, situé à l'extérieur du logement. Le compresseur met le fluide en pression, ce qui le réchauffe encore plus[1] (à environ 70 °C). Le fluide réfrigérant, sous forme gazeuse et sous pression, atteint alors une température plus élevée que l'air extérieur : la chaleur peut ainsi être transférée vers l'air extérieur lorsque le fluide passe dans le condenseur. Le fluide retourne alors à l'état liquide (30 °C), puis il est dépressurisé (on dit aussi détendu) à plus basse pression, ce qui provoque un fort refroidissement[2] (5 °C). Il est ensuite renvoyé dans le logement. Le fluide liquéfié se retransforme en gaz dans l'évaporateur et entame un nouveau " cycle à quatre temps " : compression, condensation, détente et évaporation.

Schéma simplifié d'un cycle thermodynamique d'une climatisation de type split.



[1] *Un gaz se réchauffe lorsqu'il est comprimé, comme l'air comprimé réchauffe le corps de votre pompe à vélo après quelques coups.*

[2] *Un gaz se refroidit après dépressurisation : ainsi la sortie d'une bouteille de gaz se refroidit lorsque le gaz s'échappe.*

Les performances des climatiseurs

L'efficacité d'un climatiseur s'exprime par un coefficient EER, rapport entre la puissance "froid" fournie et la puissance électrique nécessaire : plus ce coefficient est élevé, et plus l'appareil est capable de fournir de l'énergie de rafraîchissement par kilowatt-heure (kWh) électrique consommé.

Le système Inverter

Certains climatiseurs, depuis quelques années, sont équipés d'un système nommé " Inverter ". Ce dispositif permet de faire varier la vitesse du compresseur, et donc d'adapter avec précision la puissance de rafraîchissement en fonction de la demande.

Le système INVERTER permet des économies d'énergie significative, de l'ordre de 30 %.

Ce coefficient se nomme COP en mode "chauffage" dans le cas d'un climatiseur réversible : c'est le rapport entre la puissance " chaud " fournie et la puissance électrique nécessaire.

Depuis début 2004, les climatiseurs domestiques, comme d'autres appareils ménagers, doivent porter une étiquette énergie les classant sur une échelle de A à G. Les appareils classés A sont les plus performants, les G sont les plus médiocres.

Les coefficients EER et COP mentionnés sur cette étiquette sont donnés pour des conditions de fonctionnement bien précises qui ne reflètent pas la performance réelle en utilisation [13]. Ainsi plus la demande en froid est forte (pour, par exemple, une élévation de la température extérieure), plus le coefficient EER est faible.

En rafraîchissement, la gamme des appareils présente les performances suivantes :

Production de FROID par kWh électrique consommé				
Performance	Performant	Correct	Moyen	Très médiocre
Classe	**A**	**B**	**C**	**G**
Appareils monoblocs mobiles	> 2,60 kWh	2,40 à 2,60 kWh	2,20 à 2,40 kWh	< 1,60 kWh
Appareils monoblocs	> 3,00 kWh	2,80 à 3,00 kWh	2,60 à 2,80 kWh	< 2,00 kWh
Appareils split et multisplit	> 3,20 kWh	3,00 à 3,20 kWh	2,80 à 3,00 kWh	< 2,20 kWh

En mode chauffage le COP de ces appareils est un peu plus élevé que l'EER :

Production de CHALEUR par kWh électrique consommé avec unclimatiseur réversible				
Performance	Performant	Correct	Mo yen	Très médiocre
Classe	**A**	**B**	**C**	**G**
Appareils monoblocs mobiles	> 3,00 kWh	2,80 à 3,00 kWh	2,60 à 2,80 kWh	< 1,80 kWh
Appareils monoblocs de	> 3,40 kWh	3,20 à 3,40 kWh	3,00 à 3,20 kWh	< 2,20 kWh
Appareils split et multi-split	> 3,60 kWh	3,40 à 3,60 kWh	3,20 à 3,40 kWh	< 2,40 kWh

Un appareil " split " a donc une performance supérieure à celle d'un appareil monobloc, lui-même plus efficace qu'un appareil mobile à simple conduit de rejet sur l'extérieur.

L'étiquette énergie des climatiseurs

Savoir décrypter l'étiquette énergie donne de précieuses indications sur :
- le niveau de performance, de A (le plus performant) à G (le moins efficace),
- le coefficient de performance en mode "froid" (EER) ;
- pour les appareils réversibles, le coefficient en mode "chauffage" (COP) ;
- la puissance électrique ;
- la consommation électrique annuelle en mode "froid" pour une durée de 500 heures de fonctionnement dans des conditions normalisées ;
- le niveau de bruit en dB(A).

Climatisation et santé

L'utilisation sans précaution d'un climatiseur domestique n'est pas sans inconvénients pour la santé : il est important de l'utiliser correctement.

Tout d'abord, un réglage trop bas de la température n'est pas souhaitable : il est inutile et très énergivore de climatiser au-dessous de 27 °C.

Cinq degrés en moins par rapport à la température extérieure suffisent pour créer une sensation de fraîcheur lorsqu'on rentre dans un logement ou un bâtiment. Au-delà de 7 °C d'écart entre l'extérieur et l'intérieur (ce qui est très souvent le cas lorsque l'on "force" la climatisation), l'air froid insufflé augmente le risque

d'une affection du larynx ou d'une toux irritative (difficulté d'adaptation du corps au choc thermique).

Malgré les filtres, le brassage permanent de l'air intérieur de la pièce climatisée (6 à 10 volumes/heure) laisse en suspension des poussières, un peu comme le fait un convecteur électrique.

Un climatiseur doit par ailleurs être soigneusement entretenu : il faut remplacer régulièrement les filtres à air pour éviter tout risque d'allergie ou de maladie infectieuse.

Enfin, les grosses unités de climatisation sont à l'origine de nombre de cas de légionellose, à cause de l'émission dans l'environnement de la bactérie *Legionella*, qui se développe dans les tours des aéroréfrigérants équipant les grands bâtiments. Les climatiseurs domestiques de type split ne sont heureusement pas concernés par ces graves problèmes sanitaires.

Le bruit

Le bruit extérieur d'une installation de climatisation est souvent une source de forte nuisance pour le voisinage, surtout en milieu urbain.

A l'extérieur, le bruit engendré est limité par un décret [14] relatif aux bruits de voisinage, qui fixe deux niveaux maxima :

- de jour, la différence de bruit entre le bruit ambiant avec et sans climatiseur ne doit pas excéder 5 dB(A) ;
- de nuit, cette différence ne doit pas excéder 3 dB(A) ;

À l'intérieur du logement, un arrêté [15] fixe le niveau de bruit à ne pas dépasser par équipement : la pression acoustique normalisée ne doit pas dépasser 35 db(A) pour un appareil situé dans une pièce principale, et 50 dB(A) dans une cuisine.

Le vrai coût de la clim'

Quel est le vrai coût pour l'utilisateur de la fraîcheur produite par un climatiseur individuel ?

Pour en approcher la réalité, il convient de prendre en compte l'ensemble des dépenses :

- le coût de l'investissement (matériel et pose) ;
- la visite annuelle d'entretien et la recharge en fluide ;
- le coût du remplacement des filtres ;
- les dépenses d'énergie.

Le climatiseur, malgré son efficacité, reste un appareil gourmand en énergie : sa consommation annuelle d'énergie, dans l'exemple ci-dessous, est supérieure à celle de tous les autres appareils de froid - réfrigérateur et congélateur - du logement.

Il reste aussi un équipement coûteux : près de 700 euros par an dans cet exemple, le coût réel de la " frigorie " s'établissant à 0,27 euros par kilowatt-heure froid fourni.

L'installation d'une climatisation pour la seule production de froid n'est donc pas un choix sans conséquence sur un budget familial !

Pour un exemple très classique (deux pièces rafraîchies par un multisplit 2 x 2,5 kW), les dépenses annuelles peuvent être évaluées de la façon suivante :

		Montant annuel en euros
Équipement	Montant total TTC pour un multi-split Inverter à 2 unités intérieures, équipement + pose : 3750 € pour une durée de vie de 10 ans	375 €
Entretien annuel	Une visite d'entretien par an	100 €
Filtres	Remplacement des filtres	50 €
Fluide	Recharge du fluide réfrigérant	50 €
Électricité	Consommation annuelle sur 500h et abonnement EDF de 9 kW en heures creuses : 900 kWh[3]	103 €
	Coût total annuel	678 €/an
	Froid produit pour un COP moyen de 2,75	2 475 kWh/an
	Coût réel du kWh froid produit (2475/678)	0,27 €/kW

La clim', conseils d'utilisation

Vous avez déjà la clim', ou, malgré ses inconvénients, vous projetez d'en acquérir une : voici quelques conseils pour utiliser au mieux votre équipement et limiter sa consommation d'énergie :

- choisissez un climatiseur réversible classé A ;
- optez pour un appareil doté du système Inverter ;
- ne faites fonctionner votre climatiseur qu'une fois les autres solutions de rafraîchissement épuisées ;
- au démarrage, ne baissez pas la température conseillée. Comme pour un convecteur électrique, il ne sert à rien de vouloir régler le thermostat très bas au démarrage : cette commande modifie le niveau de déclenchement, mais pas la puissance de rafraîchissement, et votre pièce ne se rafraîchira pas plus vite ;
- maintenez fermées les portes et les fenêtres du local à climatiser ;
- ne réglez pas le thermostat à une température inférieure à 27 °C ou 28 °C : une température plus basse est inutile ;

[3] *Prix moyen de l'électricité 0,115 euro par kWh.*

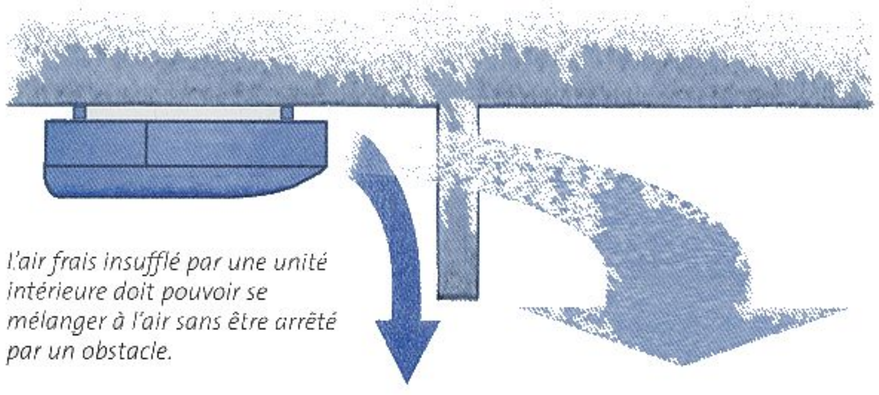
- ne climatisez pas des espaces qui n'en ont pas besoin : fermez les portes des pièces voisines et les placards ;
- nettoyez ou faites changer très régulièrement les filtres ;
- vérifiez régulièrement le niveau de fluide réfrigérant.

Courants d'air et effet Coanda

Une installation de climatisation génère souvent des courants d'air désagréables. Pour s'en prémunir, surtout si le plafond est bas[4], il faut disposer l'unité intérieure de telle manière que l'air froid insufflé ne soit pas stoppé prématurément par un obstacle.

L'air froid a en effet tendance à coller au plafond quelques instants avant de redescendre. Cette propriété, connue sous le nom d'effet Coanda, favorise le mélange de l'air froid avec l'air ambiant avant qu'il ne redescende dans la pièce.

La présence d'un obstacle comme un lustre brise l'effet Coanda en interrompant la circulation de l'air : l'air froid se heurtant à cet obstacle descend immédiatement et crée un courant d'air désagréable pour une personne se trouvant directement au-dessous.



L'air frais insufflé par une unité intérieure doit pouvoir se mélanger à l'air sans être arrêté par un obstacle.

4 *La hauteur sous plafond optimale se situe entre 2,70 m et 3,50 m.*

La clim' en voiture

Les habitacles de nos voitures sont, comme nos logements, de plus en plus équipés de climatisation. Quasi obligatoire dans nos véhicules survitrés, la climatisation automobile a pourtant un impact insoupçonné sur notre environnement.

La clim' en voiture, un équipement banal ?

Fraîches bagnoles, chaude planète !

Les ventes de véhicules équipés d'une climatisation explosent : 75 % des véhicules neufs sont vendus aujourd'hui avec cette option, et, en 2005, ce pourcentage s'élèvera à 90 %.

Cette tendance s'explique bien entendu par la baisse du prix de cet équipement : de 2000 euros environ en 1990, l'option climatisation ne vaut plus que 600 à 1500 euros. Certains revendeurs n'hésitent pas à la brader à 1 euro pour vaincre nos dernières hésitations : à 1 euro, qui s'en priverait ?

Mais il existe une autre raison à cet engouement. Tout d'abord simplement optionnelle, la clim' est devenue progressivement quasi obligatoire. Aux vitres presque verticales, laissant rentrer peu de chaleur lorsque le soleil est haut, ont en effet succédé de larges surfaces vitrées très inclinées et de grands toits panoramiques. Ces modifications ont bien sûr des raisons esthétiques ou aérodynamiques. Mais elles ont aussi pour conséquence de favoriser en toutes saisons la pénétration du soleil et de la chaleur dans un habitacle sans inertie, peu isolé, de faible volume, peu ventilé et aux apports internes importants (400 Wh avec 4 occupants). La surchauffe est alors inévitable et la climatisation devient nécessaire pour maintenir, vitres fermées, un minimum de confort.

Or, la banalisation de la climatisation automobile a de graves conséquences environnementales et énergétiques :

> elle a tout d'abord **un fort impact sur la consommation de carburant** : un trajet avec climatisation augmente la consommation de 10 à 50 % selon le parcours ;

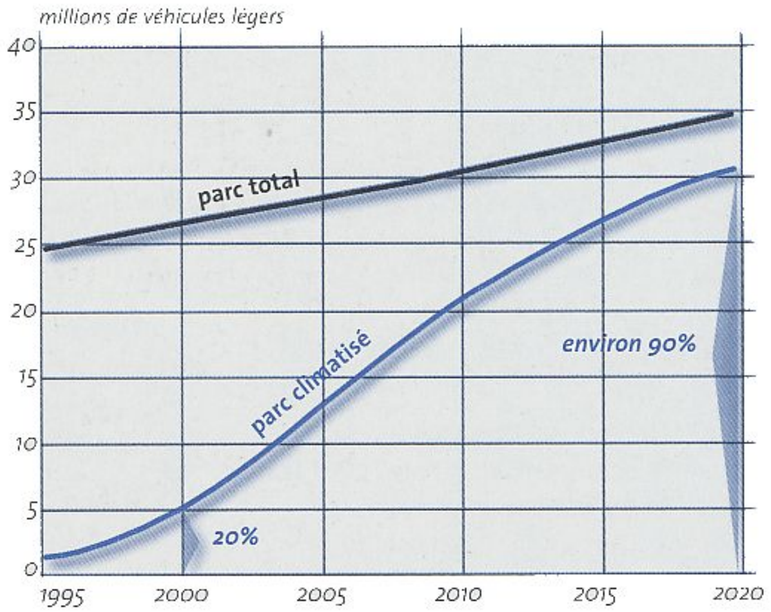
> cette surconsommation participe à **l'accroissement du taux d'ozone**, surtout en milieu urbain et par fortes chaleurs ;

> elle peut **altérer la qualité de l'air intérieur** par l'émission dans l'habitacle de moisissures et de germes générés par les condensats ;

> elle a enfin **un double impact sur l'effet de serre**, tant par la surconsommation de carburant (générateur de gaz carbonique et

Comment cela marche ?

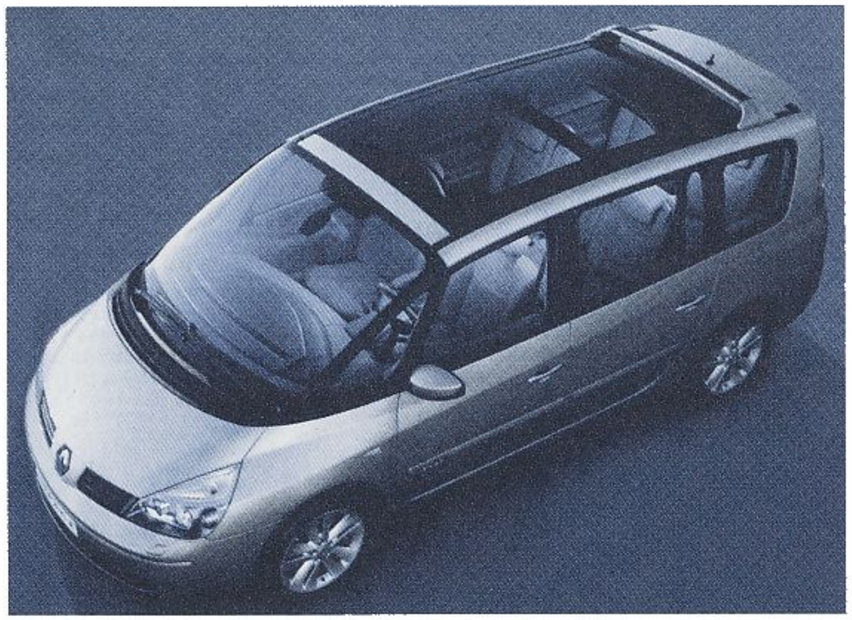
La climatisation d'une automobile fonctionne exactement comme celle d'un logement. Le compresseur n'est cependant pas entraîné par un moteur électrique, mais par une poulie actionnée par le moteur du véhicule. Autre variante : un déshumidificateur est placé dans le circuit pour éviter que l'air dans l'habitacle ne se charge trop en humidité.



Evolution prévisible du nombre de voitures climatisées en France (source : ADEME).

d'oxydes d'azote (No_x), puissants gaz à effet de serre, que par les fuites du liquide frigorigène, un gaz à très fort potentiel de réchauffement climatique.

Ces multiples effets sont d'autant plus redoutables que la clim' en voiture nous est vendue comme un élément du bonheur de conduire, bien à l'abri des pollutions et des variations climatiques...



Les vitrages inclinés et les toits panoramiques sont en été une source considérable de chaleur.

Vitrages panoramiques

La nouvelle Renault Espace IV dispose de 7,42 m^2 de surfaces vitrées, dont la quasi-totalité de son toit. Sa documentation indique qu'"une persienne, elle aussi à commande électrique, permet aux crânes sensibles de se cacher du soleil" et se conclut par : "Les ingénieurs ont longuement planché sur l'ambiance intérieure".
Sous leurs crânes, ces ingénieurs ont effectivement trouvé la solution : rafraîchir nos voitures en réchauffant la planète !

Une forte consommation de carburant

Climatiser l'habitacle d'une voiture nécessite de l'énergie, donc une surconsommation en carburant.

Il faut tout d'abord de l'énergie pour comprimer le fluide frigorifique lorsque la climatisation est en marche : le moteur fournit au compresseur la force motrice nécessaire, mais il est évidemment plus sollicité.

Des chiffres encore plus élevés en réalité ?

Les chiffres de l'étude ADEME proviennent de mesures effectuées en enceinte climatique à 30°C et 50% d'humidité, les voitures étant placées sur des bancs à rouleau et climatisées à 20 °C [16]. Les conditions d'essai prennent donc modérément en compte la chaleur extérieure, et pas du tout le soleil ! La surconsommation par forte chaleur, par fort ensoleillement et à très faible allure (la climatisation est souvent poussée au maximum dans les embouteillages urbains en été) est certainement très supérieure.

Tous les accessoires électriques qui fonctionnent en même temps que le climatiseur (l'embrayage électromagnétique solidarisant la poulie et le compresseur, le ventilateur du condenseur et le ventilateur de l'évaporateur) consomment également de l'énergie électrique.

Enfin, même lorsque la clim' n'est pas en marche, le poids de l'équipement de climatisation génère, comme toute surcharge, une surconsommation permanente.

Une analyse récente de l'ADEME [17] met bien en évidence cette forte augmentation de carburant :

	Surconsommation lorsque la climatisation est en marche	
En ville		
Essence	+ 3,1 l/100	+ 31 %
Diesel atmosphérique	+ 2,4 l/100	+ 26 %
Turbo-diesel (suralimenté)	+ 4,0 l/100	+ 43 %
Sur route		
Essence	+ 0,9 l/100	+ 16 %
Diesel atmosphérique	+ 0,7 l/100	+ 12 %
Turbo-diesel (suralimenté)	+ 1,5 l/100	+ 28 %
Parcours mixte ville et route		
Essence, cycle urbain	+ 1,7 l/100	+ 23 %
Diesel atmosphérique	+ 1,3 l/100	+ 19 %
Turbo-diesel (suralimenté)	+ 2,5 l/100	+ 36 %

Le constat est aussi édifiant qu'alarmant.

En parcours mixte (urbain et route), la climatisation entraîne une surconsommation moyenne de carburant de 1,3 à 2,5 litres aux 100 kilomètres, soit + 19 à + 36 % selon le type de véhicule. En ville, la surconsommation atteint 2,5 à 4 litres aux 100 kilomètres. Enfin, la surconsommation des véhicules diesel suralimentés est particulièrement élevée : elle est le double de celle d'un diesel atmosphérique.

Un accroissement des émissions polluantes

Les émissions de CO2 sont bien entendu augmentées, en proportion directe de la surconsommation de carburant : 15 % de carburant en plus, c'est aussi un accroissement de 15 % des émissions de gaz carbonique.

Mais les autres polluants (NO_X, particules) sont aussi en nette augmentation : toujours selon la même étude de l'Ademe, une voiture à essence roulant en ville avec climatisation peut émettre 74 % d'oxydes d'azote en plus si sa climatisation est en marche (47 % pour un diesel). Or c'est précisément lors des grandes chaleurs, c'est-à-dire au plus fort de l'utilisation urbaine de la climatisation, que l'accroissement du taux d'ozone est le plus nocif !

Un diesel émet quant à lui 60 % de plus de particules en ville, et 32 % sur route.

Augmentation moyenne des émissions moyennes d'oxydes d'azote (Nox) due à la climatisation.

Cycle urbain	Essence	+ 74 %
	Diesel	+ 47 %
Cycle extra-urbain	Essence	+ 51 %
	Diesel	+ 27 %

Engagement vertueux ?

Trois associations de constructeurs automobiles ont signé avec la Commission européenne un accord volontaire visant à réduire les émissions de CO2 de leur gamme de véhicules à 140 grammes de CO2 au kilomètre en 2008 pour les constructeurs européens, et 2009 pour les constructeurs japonais et coréens. Ces engagements portent sur le taux d'émission moyen de la gamme, pondéré par les ventes : les petits véhicules émettant relativement peu de gaz à effet de serre, leur vente procure aux constructeurs une sorte de " crédit CO2 " qui leur permet de continuer à produire des voitures hauts de gamme particulièrement peu vertueuses...

Plus fort encore : ces normes sont établies sans prendre en compte les auxiliaires, dont la climatisation !

Des fluides à effet de serre très volatils

Rouler avec la clim' : une demi-tonne de CO_2 par an

Comme les climatiseurs domestiques, les systèmes de climatisation automobile utilisent des fluides frigorigènes dont les pertes ont un fort impact sur l'effet de serre.

Le fluide actuellement le plus utilisé est le R134a, de la famille des HFC, dont chaque gramme émis dans l'atmosphère a le même impact que 1 300 grammes de CO2 !

De plus, les pertes en fluide sont plus élevées lors de l'utilisation d'une climatisation automobile qu'avec un climatiseur domestique :

> l'installation d'une climatisation dans un véhicule implique d'utiliser des raccords flexibles, souvent perméables et à l'étanchéité imparfaite ;

> le compresseur est entraîné par le moteur, ce qui suppose un joint tournant, source d'une grande partie des pertes. Si le compresseur n'est pas de très bonne qualité, les pertes peuvent être importantes ;

> la voiture est soumise à des vibrations importantes, source de micro-fissures. Or, la molécule de R134a est petite et le fluide très volatil.

Estimation des émissions de CO2 dues à la climatisation pour un véhicule courant.

		Hypothèses	*Émission*	*Équivalent CO2*
Émission de fluide	Émissions fugitives (pertes)	15 %/an en moyenne	120g/an	156 kg
	Maintenance	2 demi-charges, soit 775 g sur 10 ans, pas de maintenance les deux dernières années	80 g/an	104 kg
	Fin de vie	Une demi-charge en fin de vie	40 g/an	52 kg
		Total des émissions :	**240 g/an**	**312 kg**
Surconsommation de carburant	14 000 km parcourus par an à 175 g CO2/km (moyenne française)	+ 20 % en moyenne lors de l'utilisation, pour un temps d'utilisation de 30 %[1]		148 kg
Total émissions et surconsommation en équivalent CO2 par an : 460 kg				

[1] *En France, la climatisation automobile fonctionne en moyenne : 26 % en ville, 47 % sur route et 27 % sur autoroute. Source : ADEME, juin 2003.*

Au total on estime les émissions " fugitives " annuelles d'une climatisation automobile à 15 % du volume de fluide, auquel il faut ajouter le fluide perdu lors des maintenances en fin de vie [18].

La perte annuelle moyenne est donc de l'ordre de 240 grammes par an de R134a, soit l'équivalent d'un rejet annuel de plus de 300 kilos de CO_2[2].

Lorsqu'on rajoute la surconsommation de carburant, c'est un total de près de 500 kilos d'équivalent CO_2 qui est émis chaque année par chaque voiture climatisée : tout se passe, en matière d'émission de gaz carbonique, comme si ce véhicule avait parcouru 2 800 kilomètres supplémentaires !

Clim' et qualité de l'air des véhicules

La climatisation dans un véhicule peut se transformer en vraie nuisance si elle est mal entretenue : l'efficacité des filtres est réduite dès qu'ils sont encrassés.

De plus, lorsqu'on arrête la climatisation, de l'eau peut se condenser dans le circuit d'air au niveau de l'évaporateur puis stagner en permanence. Avec la chaleur du moteur et à l'obscurité, ces condensats favorisent la prolifération de bactéries, de moisissures, et de champignons. Ce sont eux qui génèrent les mauvaises odeurs caractéristiques d'une climatisation qui n'a pas fonctionné pendant un certain temps.

Pour éviter la contamination microbienne, éliminer les odeurs et prévenir les réactions allergiques (éternuements, quintes de toux, maux de gorge) dues à l'encrassement du système de climatisation et de chauffage, il est indispensable de faire nettoyer l'ensemble du circuit d'aération et de climatisation et de changer le filtre situé dans l'habitacle. Cette opération est recommandée une fois par an ou tous les 15 000 kilomètres.

La climatisation en voiture n'a donc rien du "printemps perpétuel" vanté par de ravageuses publicités !

[2] *En d'autres termes, les seules émissions fugitives (indépendamment de la surconsommation de carburant) sont équivalentes à celles générées par un parcours supplémentaire de 2000 km.*

Le vrai coût de la clim' automobile

Rouler avec la clim' : trois euros de l'heure

Supposons qu'un automobiliste parcoure 14 000 kilomètres par an - la moyenne française -, et que sa consommation hors climatisation est de 8,13 litres aux 100 kilomètres [19], à 1,10 euros le litre de Super98.

Il dispose de la climatisation sur son véhicule, et comme la plupart des conducteurs, il la met en marche 30 % du temps, soit pendant 4 200 kilomètres.

Quel est le coût total (investissement, surconsommation et entretien) de l'utilisation de cette climatisation ? Les chiffres sont éloquents :

	Période	*Montant*	*Coût annuel en euros*
Équipement	Durée de vie : 10 ans	1 000 €	100 €
Nettoyage et désinfection des circuits	Tous les ans ou 14 000 km	40 €	40 €
Remplacement du filtre d'habitacle	Tous les ans ou 14 000 km	50 €	50 €
Révision générale, rechargement en fluides, remplacement du déshydratant	Tous les 2 ans, avec 15 % de pertes annuelles	150 €	75 €
Surconsommation	+ 20 % en moyenne lors de lors de l'utilisation, pour un temps d'utilisation de 30 %	68 litres/an	75 €
		Total annuel	340 €
		Prix de revient par kilomètre climatisé	8 centimes d'euro

La climatisation, pour cet exemple courant, revient donc - en coût global - à 340 euros par an, c'est-à-dire à 1 euro tous les 12 kilomètres climatisés. Et puisqu'une voiture roule en moyenne annuelle à 40 kilomètres à l'heure, le coût du confort climatisé revient à 3,20 euros de l'heure !.

Cher pour une clim' souvent bradée à 1 euro !

L'entretien d'une clim' de voiture

Si vous êtes utilisateur d'une voiture équipée de climatisation, il est important de bien en maîtriser l'usage :

- par temps chaud, roulez au moins deux à trois minutes les fenêtres ouvertes avant de la mettre en marche, afin d'évacuer rapidement l'air surchauffé ;
- évitez d'utiliser la climatisation sur des trajets très courts : il faut une dizaine de minutes avant d'obtenir la température souhaitée, et elle fonctionnera à pleine puissance en pure perte ;
- évitez de l'utiliser lorsque le moteur est froid ;
- quand la climatisation est en fonctionnement, les fenêtres doivent toutes être complètement fermées ;

L'entretien et la maintenance doivent être particulièrement suivis :

- changez le filtre à pollen chaque année ou tous les 15 000 kilomètres : s'il est obstrué, le circuit d'air fonctionnera mal et le refroidissement sera médiocre ;
- faîtes vérifier chaque année la pression et la présence du liquide frigorigène ;
- vérifiez régulièrement le niveau du liquide de refroidissement du moteur : un moteur chauffe plus quand la climatisation fonctionne ;

Il est conseillé en outre :

- de ne pas se servir de la climatisation si le circuit ne contient plus de fluide ou s'il y a des fuites importantes : vous risquez de casser le compresseur ;
- de régler en été la climatisation entre 3 et 6°C au-dessous de la température extérieure sous abri ;
- de mettre la ventilation à fond après avoir coupé la climatisation, afin de sécher les condensats qui ont pu se former. Ces derniers peuvent en effet générer de mauvaises odeurs.

La clim' en hiver

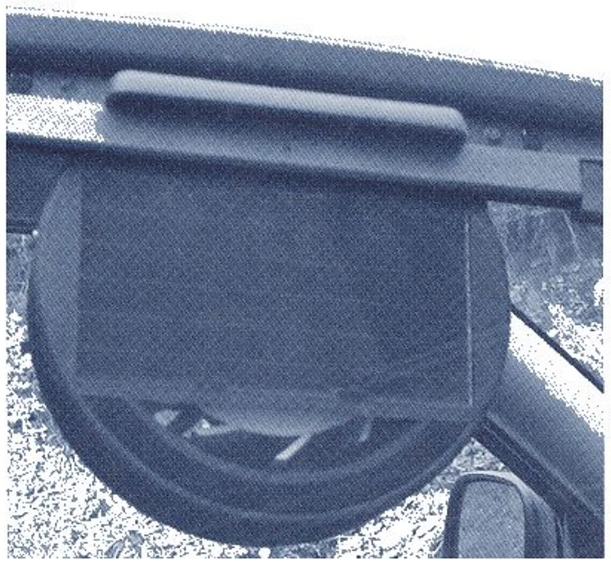
Pour éviter les pertes de fluide par détérioration du joint tournant du compresseur, il est recommandé de faire tourner la climatisation quelques minutes au moins une fois par semaine, toute l'année, y compris l'hiver : cela permettra de maintenir ce joint en état. En hiver, faites plutôt cette opération lorsque l'habitacle est embué, avec une forte ventilation : vous profiterez ainsi de la déshumidification apportée par la climatisation.

Quelles alternatives à la clim' en voiture ?

Face à ce tableau environnemental accablant, les solutions pour obtenir, sans climatisation, un peu de fraîcheur dans nos voitures sont peu nombreuses.

Quelques conseils simples - outre celui de garer sa voiture à l'ombre - peuvent permettre de diminuer de quelques degrés la température de l'habitacle :

- choisir une voiture de couleur claire, réfléchissant le rayonnement solaire ;
- éviter les sièges en skaï ou en cuir qui collent à la peau par fortes chaleurs ;
- utiliser éventuellement des couvre-sièges en billes de bois, qui facilitent l'évacuation de la sueur ;
- choisir des vitres ayant une faible transmission solaire (vitres teintées), et un toit ouvrant (non vitré) ;
- installer sur le côté ou à l'arrière des écrans pare-soleil ;



Aérateur de vitrage pour voiture.

Les aérateurs de vitrage

S'il n'existe pas vraiment d'équipement alternatif à la climatisation pour un véhicule particulier, on trouve cependant de petits aérateurs de vitrage fonctionnant grâce à l'énergie solaire. Ils se placent en haut d'une vitre de portière. Lorsque celle-ci est relevée, l'aérateur est maintenu entre le haut de la vitre et le cadre supérieur de la portière.

Fonctionnant au fil du soleil, ces aérateurs permettent, surtout à l'arrêt, de ventiler en permanence l'habitacle.

➧ quand on le peut (sur un parking de grande surface par exemple), stationner en plaçant l'avant de la voiture vers le nord, à l'opposé du soleil ;
➧ si possible, laisser entrouvertes de 2 ou 3 centimètres deux vitres opposées (avant gauche et arrière droit par exemple). On créera ainsi une circulation d'air transversale qui évitera que l'habitacle ne surchauffe excessivement en l'absence totale de ventilation.
Enfin, bien sûr, quelques conseils de bon sens : éviter de rouler aux heures les plus chaudes, s'arrêter souvent (à l'ombre !), emporter un bonne provision d'eau, etc.

Les rafraîchisseurs évaporatifs

Pour des camping-cars ou des véhicules utilitaires, il existe également des ventilateurs-évaporateurs qui se placent sur le toit. Le rafraîchissement est indirect : un échangeur permet de rafraîchir l'air neuf par évaporation sans faire entrer d'humidité dans l'habitacle.

Rafraîchisseur évaporatif de toiture sur un camping-car.

14

Demain, la clim' plus écologique ?

Il existe, nous l'avons vu, des alternatives plus écologiques à la climatisation classique. La plupart restent très peu diffusées en France mais elles ont fait leurs preuves : elles prendront dans un proche avenir une place de plus en plus importante.

Le puits provençal banalisé ?

Un nouveau métier : puisatier provençal !

L'idée de " puiser " la fraîcheur du sol en faisant circuler l'air extérieur dans des canalisations enterrés n'est pas récente. Elle trouve cependant aujourd'hui une nouvelle jeunesse et pourrait bien se banaliser dans les prochaines années.

Le procédé a aussi le mérite d'être réversible : la même installation peut aussi servir à préchauffer l'air de renouvellement l'hiver.

Déjà, en Allemagne et en Autriche, les maisons et bâtiments à très basse consommation d'énergie sont le plus souvent équipées d'un préchauffage de l'air par "puits canadien", et des entreprises se spécialisent dans la réalisation de ce type d'équipement.

Le procédé est simple, modulable, et performant : l'échange avec le sol est en effet très efficace. Il est aussi peu coûteux si l'on profite des travaux de terrassement ou de raccordement pour disposer les canalisations.

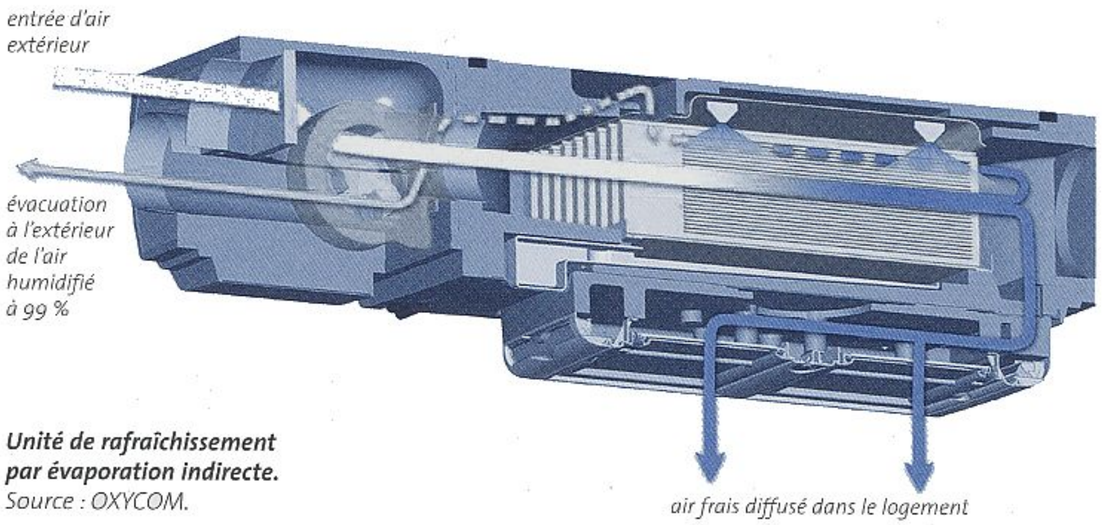
Le puisatier de nos village ayant disparu avec la généralisation de l'eau courante, renaîtra-t-il comme puisatier provençal ou canadien ?

Le rafraîchissement par évaporation indirecte

Le rafraîchissement par évaporation présente l'inconvénient d'augmenter le taux d'humidité des locaux au-delà de ce qui est souhaitable si l'air n'est pas renouvelé à un rythme suffisant. L'évaporation indirecte permet de résoudre ce problème : l'eau est évaporée non pas directement dans le local à rafraîchir mais dans un circuit primaire. Grâce à un échangeur, l'air rafraîchi mais non humidifié est diffusé dans les locaux.

L'évaporation indirecte est donc particulièrement intéressante lorsque l'air ambiant a un taux d'humidité important, afin d'obtenir un pouvoir de refroidissement plus élevé.

OXYCOM, une firme néerlandaise, commercialise un rafraîchisseur de ce type destiné à équiper les camping-cars. Un matériel à usage résidentiel devrait être prochainement disponible.



Unité de rafraîchissement par évaporation indirecte.
Source : OXYCOM.

La clim' domestique à absorption

Outre sa grande fiabilité, l'intérêt principal de la climatisation à absorption est de pouvoir utiliser une source d'énergie moins noble que l'électricité pour faire du froid : on peut faire appel au gaz naturel comme source de chaleur, ou bien capter l'énergie solaire ou bien encore récupérer la chaleur "perdue" (eau chaude inutilisée, vapeur, fumées, etc.)

Le froid chimique par adsorption solide-gaz

Une autre technique pour faire du froid, dite à adsorption, consiste à mettre en relation non pas un liquide et un sel, comme dans les systèmes à absorption, mais un solide et un gaz.
Si on met en relation deux réservoirs contenant l'un de l'ammoniaque liquide, et l'autre du chlorure de calcium, l'ammoniaque s'évapore puis se recombine au chlorure de calcium par adsorption, c'est-à-dire par absorption en surface. L'évaporation produit du froid dans le réservoir d'ammoniaque (jusqu'à – 40 °) et la recombinaison produit de la chaleur dans le réservoir de chlorure de calcium (jusqu'à + 150 °C). Il suffit d'apporter de la chaleur (énergie solaire, gaz naturel, etc.) pour régénérer de l'ammoniaque avant un nouveau cycle de production de froid.
Un des intérêts de cette technique est de pouvoir "stocker" du froid dans l'ammoniaque liquéfiée : le froid peut donc être fourni à la demande, même si la source de chaleur est très variable ou intermittente comme l'est par exemple l'énergie solaire.

Ces machines ont aussi d'autres avantages environnementaux : très silencieuses, elles n'utilisent aucun fluide frigorigène.

Plutôt réservée autrefois aux installations importantes, la climatisation à absorption fait progressivement son apparition dans des gammes de puissances plus faibles. Ainsi, la société ROBUR fabrique des unités à partir de 17 kW (froid) pour climatiser des surfaces à partir de 150 m².

Au Japon, la climatisation par absorption au gaz commence à faire une percée intéressante dans le secteur résidentiel. La société RINAI, par exemple, a développé une machine frigorifique à absorption (eau et bromure de lithium) d'une puissance froid de 5 kW, ce qui correspond aux besoins d'une maison de dimensions moyennes. Ce matériel n'est pas encore disponible en France.

Les avancées de la clim' solaire

Quand le soleil souffle le froid !

Pour être totalement écologique, la clim' doit faire appel à une énergie renouvelable. Or le soleil – responsable de la canicule – peut, paradoxalement, devenir une source de froid. Il est ainsi possible :
> de produire de l'électricité par des **cellules photovoltaïques** pour actionner une machine frigorifique à compression ou le ventilateur d'un rafraîchisseur par évaporation,
> de fournir de la chaleur moyenne température à un équipement de dessiccation-évaporation par des **capteurs solaires à air ou à eau**,
> ou bien de fournir de la chaleur à plus haute température à une machine à absorption (ou à adsorption) par des **capteurs solaires sous vide**.

La production photovoltaïque d'électricité solaire permet d'utiliser toutes les machines produisant du froid par **compression** d'un fluide, mais sans pollutions ni émissions au moment de la production énergétique. Les limites d'utilisation sont uniquement économiques, liées au coût des systèmes photovoltaïques.

La **dessiccation-évaporation** consiste à assécher l'air qui entre dans le local puis à le rafraîchir par évaporation. La dessiccation initiale évite tout risque d'augmentation excessive de la teneur en humidité de l'air du local à rafraîchir. La dessiccation s'effectue par passage dans un liquide ou sel, régénéré par chauffage à des températures de l'ordre de 50 à 100 °C. Il est possible avec cette technique, encore très peu développée en France[1], d'utiliser le soleil comme source de chaleur pour régénérer le sel.

Les climatisations solaires à **absorption** sont pour l'instant réservées à des installations importantes, dans le tertiaire (hôtels, bureaux) ou l'industrie (caves viticoles de Banyuls). De récents progrès sur les capteurs sous vide permettent d'envisager la mise au point de systèmes adaptés au résidentiel et au tertiaire,

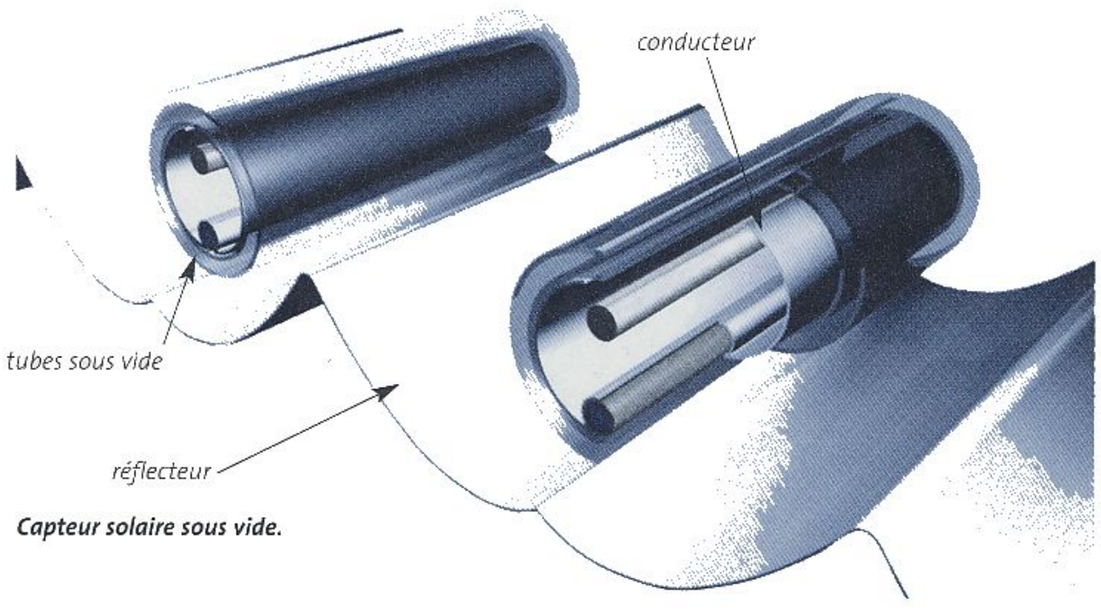
[1] *Une installation est en cours de réalisation dans les nouveaux locaux de l'ASDER à Chambéry.*

assurant à la fois le chauffage partiel en hiver, le rafraîchissement durant l'été et la production d'eau chaude solaire toute l'année. Les capteurs solaires sont alors utilisés tout au long de l'année, avec une forte productivité.

Quand la Corse se climatise au bois de chauffage

A Corte, au centre de la Corse, un réseau de chaleur au bois alimente une partie de la ville. D'un bon rendement en hiver, ce réseau de chaleur est sous-utilisé en été lorsqu'il ne sert plus qu'à produire la chaleur nécessaire à l'eau chaude sanitaire.

Or, avec de la chaleur, on sait produire du froid grâce à une machine frigorifique à absorption. D'où l'idée de coupler deux machines de ce type au réseau de chaleur pour fournir les besoins en climatisation de l'IUT et d'un centre commercial. Le bois, énergie renouvelable, se substitue donc à l'électricité produite en Corse majoritairement par des centrales au fioul fortement polluantes.



Capteur solaire sous vide.

Les capteurs solaires sous vide

Les capteurs solaires sous vide sont des tubes de verre dans lesquels une demi-face intérieure est réfléchissante. Le rayonnement solaire ainsi concentré chauffe un tube central dans lequel circule un liquide.

Un vide poussé est réalisé dans le tube, assurant ainsi une très forte isolation car, sous vide, les transferts de chaleur ne peuvent avoir lieu : il n'y a plus de molécules de gaz pour transmettre la chaleur entre l'absorbeur et son enveloppe. Les pertes sont donc beaucoup plus faibles qu'avec des capteurs thermiques classiques. Le fluide passant dans l'absorbeur peut ainsi être porté à une température très élevée tout en conservant un excellent rendement, ce qui est particulièrement intéressant pour produire la chaleur nécessaire au fonctionnement d'une machine à absorption.

La froide revanche du CO_2

Le gaz carbonique contre l'effet de serre ?

Il existe des fluides frigorigènes sans impact sur l'effet de serre, mais dont l'usage pose de nombreux problèmes : ainsi l'isobutane (R600a) est très inflammable. D'autres voies sont donc à l'étude, comme le R152a, mais ce mélange à base d'hydrogène est très explosif.

Cependant les fabricants, à la recherche d'un fluide à faible incidence sur le réchauffement climatique, ont peut-être trouvé une solution grâce au principal responsable de ce dernier, le gaz carbonique lui-même !

Avant l'arrivée de fluides comme le fréon (R12), le CO_2 a longtemps été utilisé comme agent refroidissant, et les premiers équipements de climatisation des locaux fonctionnaient avec ce gaz, aux excellentes propriétés frigorigènes.

Et si le CO_2 n'est évidemment pas sans impact sur l'effet de serre, il l'est infiniment moins que les meilleurs fluides actuels : 1 300 fois moins par exemple que le R134a employé aujourd'hui dans les appareils de production de froid.

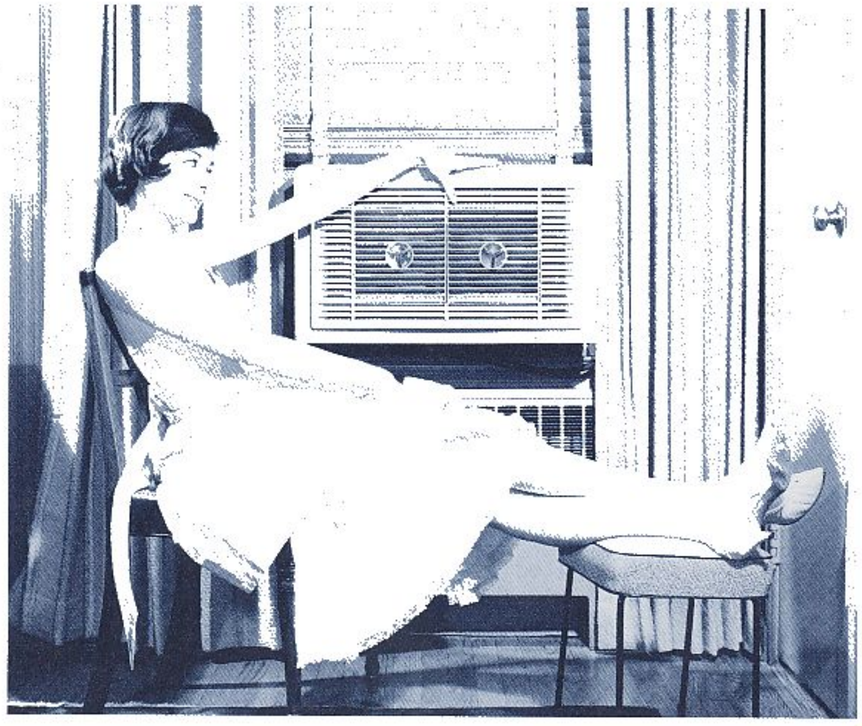
Quelques nouveaux fluides frigorigènes à très faible impact environnemental.

Code	*Nom usuel*	*Impact sur l'effet de serre (GPW)*	*Impact sur la couche d'ozone (ODP)*	*Usage*
R290	Propane pur	3	0	Proche du R22, mais très inflammable
R744	Gaz carbonique CO_2	1	0	Expérimental
R600a	Isobutane	3	0	Inflammable

15 Climatisation, impacts sur l'énergie et sur l'environnement

Le marché mondial de la climatisation est en pleine explosion. De la maison à la voiture, de la voiture au bureau, nous nous habituons à vivre en permanence dans une atmosphère climatisée. Cette banalisation est-elle vraiment un progrès ?

La clim' banalisée



Aux États-Unis, 65 % des logements et 80 % des bureaux sont climatisés. Au Japon, les chiffres sont plus impressionnants encore : 85 % des logements japonais sont équipés d'un climatiseur individuel, et quasiment 100 % des bureaux ! Et l'immense marché chinois représente déjà en volume 16 % des ventes mondiales [20].

En Europe, le taux de pénétration de la climatisation dans le secteur résidentiel n'est encore que de 1 à 5 %. Les climatiseurs sont plus répandus dans le secteur tertiaire : dans les bureaux, le pourcentage de surfaces conditionnées va de 5 % (Autriche, Allemagne) à plus de 20 % (Grèce et Portugal).

La progression du taux d'équipement domestique est cependant rapide, et la canicule n'a pas été une période difficile pour tout le monde : + 20 % de ventes de climatiseurs mobiles en France en 2003, + 32 % en multisplit [21].

L'extension de la climatisation automobile est encore plus impressionnante : le taux d'équipement des véhicules neufs a grimpé en France de 15 % en 1995 à plus

de 70 % en 2003. Vers 2010, il ne devrait plus guère y avoir de choix possible : 90 % des voitures neuves seront climatisées, rejoignant les taux actuels des États-Unis et du Japon. Un développement sans garde-fou puisque les contraintes d'émission imposées aux constructeurs ne prennent pas en compte la surconsommation due à l'usage de la climatisation !

Clim' et pub, mariage de déraison ?

"Entre sa vie professionnelle et sa vie privée, l'homme moderne et urbanisé ne passe pas, en moyenne, plus de dix minutes par jour à l'air libre. Pour offrir un confort de vie acceptable aux individus qui passent leur vie dans un espace clos où règne une ambiance confinée, celle-ci doit être au minimum renouvelée, ou mieux, conditionnée. Au même titre que les ascenseurs, l'éclairage, le téléphone, la voiture, la climatisation est une notion essentielle de la qualité et du bien-être des hommes dans leur environnement."

Cette généreuse – et très intéressée – profession de foi est extraite du site Internet d'un groupement de fabricants.

Un autre site qui s'annonce comme le "portail de la clim' " joue sur un autre registre : la clim', c'est la liberté pour l'architecte, la productivité pour le patron :

"Qu'il soit destiné à des activités tertiaires, aux commerces ou aux loisirs, un bâtiment sans climatisation est pénalisé par rapport à un bâtiment climatisé : la productivité y est moindre, les loyers et les prix de revente en sont inférieurs. Chaque fois qu'ils ont à construire un bâtiment neuf, les maîtres d'ouvrage ont tout intérêt à prévoir la climatisation. C'est la solution la plus économique et la plus ouverte. Elle laisse à l'architecte la liberté de créer des formes, des volumes et des espaces inconcevables sans la climatisation."

Comment l'espèce humaine a-t-elle pu survivre avant la clim' ?

La clim' subventionnée, une aberration

Les publicitaires et les hommes du marketing ne sont pas les seuls à encourager la progression de la climatisation : l'État fait en effet bénéficier les systèmes de climatisation réversibles des mêmes avantages fiscaux que les énergies renouvelables ! Il considère en effet que ces systèmes, qui permettent en mode " chauffage " de capter la chaleur de l'environnement, utilisent une énergie renouvelable. Ils peuvent donc bénéficier des faveurs de l'État, et ouvrir droit à un crédit d'impôt égal à 15 % du montant du matériel [22].

Par ailleurs, la climatisation réversible bénéficie d'une TVA à taux réduit à 5,5 % pour des habitations de plus de deux ans, privilège qui n'est pas accordé pour l'acquisition d'un appareil ménager peu énergivore...

Mais ce n'est pas tout : pour vous aider à acquérir une clim' réversible, EDF, dans le cadre du programme Vivrélec, propose d'emprunter à hauteur de 100 euros par mètre carré climatisé, à un taux inférieur aux taux du marché et à un coût allégé [23].

Crédit d'impôt, TVA à taux réduit, prêts bonifiés : pourquoi s'en priver ?

Deux pays, deux politiques

" Dans dix ans, tout le monde aura la clim', pourquoi pas vous ? "

Il y a plus de quinze ans, la climatisation avait déjà inspiré les sages édiles genevois. Extrait de la loi sur l'énergie de 1988 [24] :

"Les exigences de confort ont certes évolué, mais, pour les conditions climatiques rencontrées à Genève, il est aisé de construire un habitat naturellement confortable toute l'année. Dans la plupart des cas, la climatisation n'est donc pas une nécessité.

À Genève, les installations fixes de climatisation sont soumises à autorisation. La climatisation, dès lors, répond uniquement à des besoins qui ne peuvent être pris en charge ni par des mesures constructives, ni par des mesures d'exploitation. Le projet doit, d'autre part, limiter au maximum la consommation d'énergie.

Globalement, les installations de climatisation sont en contradiction avec les objectifs nationaux et cantonaux de maîtrise de la demande d'électricité et représentent un coût pour l'environnement qui contrarie fortement les objectifs nationaux de réduction d'émissions de gaz à effet de serre.

La fraîcheur en été est, dans un premier temps, une affaire de qualité de construction, puis de qualité d'exploitation, avant de faire intervenir les installations spécifiques de climatisation, qui sont, rappelons-le, soumises à une autorisation."

En France, EDF a pendant des années incité ses clients à s'équiper de climatiseurs, comme le montre le fac-similé de la facture ci-dessous, semblable à celles que tous les abonnés de la région de Montpellier ont reçues pendant des années.

Le bon sens aurait-il du mal à traverser le lac Léman ?

Frais dedans, chaud dehors !

Une clim', dix impacts sur l'environnement

La pub nous promet " le printemps chez vous toute l'année ! ", la fiscalité est incitative et la canicule de 2003 a achevé de convaincre les indécis. Les courbes de vente explosent, et les usines asiatiques tournent à fond : 50 millions de climatiseurs ont été fabriqués l'année dernière en Chine, record pulvérisé.

Or, cette généralisation de la climatisation de nos logements et bâtiments a de multiples impacts sur notre environnement :

1• Sur la **qualité de l'air** extérieur, où la dissémination des bactéries *Legionella* par les centrales de climatisation pose de très graves problèmes sanitaires. De même à l'intérieur de nos logements, où un mauvais réglage de température, le manque de renouvellement d'air ou un entretien médiocre peuvent accroître les risques sur la santé ;

2• Sur le niveau de **bruit**, surtout en milieu urbain : un ventilateur usagé, les vibrations d'un compresseur peuvent s'avérer insupportables pour ceux qui souhaitent profiter fenêtre ouverte de la fraîcheur nocturne ;

3• Sur l'**effet de serre**, en raison des pertes inévitables de fluide réfrigérant : les fluides actuels, même prétendus " verts " par les fabricants, ont un considérable pouvoir de réchauffement climatique ;

4• Sur la **couche protectrice d'ozone** stratosphérique : cet impact est heureusement limité par l'emploi de nouveaux liquides frigorigènes, mais les anciens fluides n'ont pas encore été totalement éliminés et leurs effets se prolongeront encore, comme avec le fréon, sur une centaine d'années ;

5• Sur l'**esthétique** des bâtiments avec les appareils de fenêtres, toujours disgracieux.

Mais ce n'est pas tout : la climatisation par compression a aussi de multiples impacts indirects. La surconsommation d'énergie électrique correspondante induit en effet un impact environnemental qu'il faut aussi prendre en compte :

6• Émissions de **gaz à effet de serre** (CO_2, NO_x) par les centrales thermiques ;

7• Émissions de **polluants** (NO_2, SO_2) par ces mêmes centrales ;

8• Génération de **déchets radioactifs** par les centrales nucléaires, sans compter les autres problèmes liés à cette source d'énergie (prolifération, risques accidentels) ;

9• Surconsommation de **ressources fossiles** (charbon, gaz, pétrole, uranium) dont les réserves sont limitées ;

10• Augmentation des **appels de puissance électrique** lors des jours les plus chauds, ce qui fragilise le réseau électrique et impose la création de centrales supplémentaires.

La climatisation automobile, on l'a vu, n'est pas en reste : forte surconsommation de carburant, pertes de fluides beaucoup plus fortes que sur les climatisations fixes, augmentation des précurseurs de l'ozone en milieu urbain les jours de grande chaleur.

"*Le printemps chez vous toute l'année !*" : le printemps dedans, peut-être, mais à quel prix dehors ?

La climatisation, une demande accrue en énergie

Aux États-Unis, la climatisation intervient déjà pour 30 % de la demande totale d'électricité lors des grosses chaleurs. Les défaillances du réseau en Californie lui sont directement imputables.

En France, le développement accéléré de la climatisation dans les bureaux et les commerces est une composante majeure des pointes de consommation estivales dans les régions les plus ensoleillées : ainsi, dans l'est de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la climatisation représente certains jours 40 % des appels de puissance vers 13 heures, fragilisant considérablement le réseau électrique. Enfin, le développement de la climatisation est responsable d'une part importante de l'augmentation débridée des consommations d'électricité domestique en 2003.

Quant à la climatisation automobile, elle entraîne en moyenne une surconsommation de 20 % en cycle mixte. Étant utilisée 25 à 30 % du temps, elle entraîne donc, en moyenne annuelle, une augmentation de 5 % de la consommation annuelle d'un véhicule, soit + 0,4 litre aux 100 kilomètres, réduisant d'autant les efforts faits par les constructeurs pour réduire la consommation des véhicules.

Au rythme actuel de pénétration de la climatisation automobile, l'augmentation annuelle de la consommation de carburant correspondant atteindra 1,15 million de tonnes équivalent pétrole (Mtep) en 2015 [25]. Cette valeur considérable correspond, par exemple, à la consommation actuelle d'énergie primaire de tous les transports ferroviaires en France (SNCF, RER et métro, voyageurs et marchandises).

Clim' réversible ou convecteurs ?

Avec un COP (voir chapitre 11) moyen de l'ordre de 3, l'achat d'un climatiseur réversible présente un avantage en hiver par rapport à des convecteurs électriques, dont le COP n'est que de 1 : le kilowattheure électrique est alors 3 fois mieux utilisé.

Ce choix n'est envisageable qu'à trois conditions :

- le logement était chauffé précédemment par des convecteurs ;
- il est impossible d'opter pour un mode de chauffage non électrique ;
- le logement est situé dans une région où les hivers ne sont pas trop rigoureux, ce qui permet au climatiseur réversible d'assurer à lui seul le chauffage des pièces dans lequel il est installé.

Des mesures édifiantes

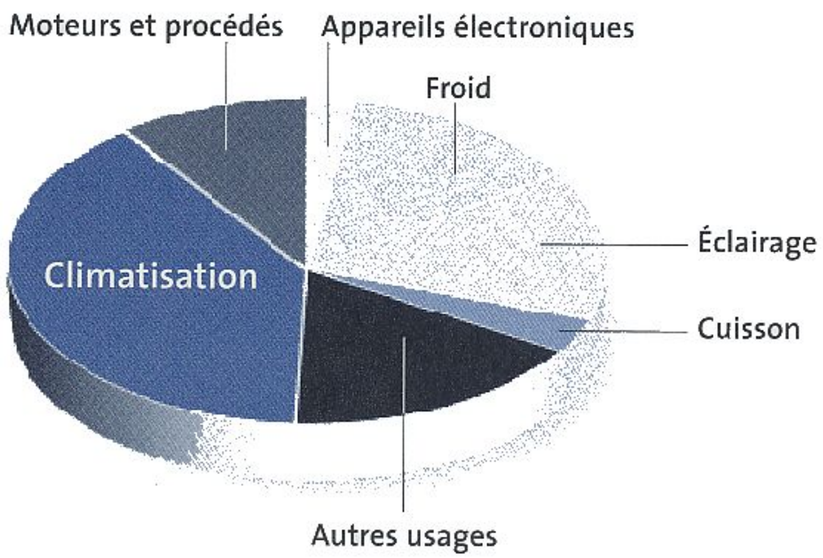
On dispose d'assez peu de mesures sur les consommations des climatiseurs en conditions réelles d'utilisation.

Cependant, une étude menée en 2002 en région Provence-Alpes-Côte d'Azur sur 22 bâtiments de bureaux montre que la climatisation représente 15 % de la consommation annuelle d'électricité des bureaux (hors chauffage).

Une des indications les plus précieuses de cette étude est la variation très importante de la consommation d'un bâtiment à l'autre, de 1 à 3 pour les climatiseurs individuels, et de 1 à 18 pour les systèmes centralisés [26] ! Les caractéristiques du bâtiment, la gestion de la climatisation mais aussi le comportement des utilisateurs expliquent de tels écarts. Ainsi, sur plus de la moitié des sites, la consommation de climatisation de bureaux est aussi importante la nuit et les week-ends que pendant la journée.

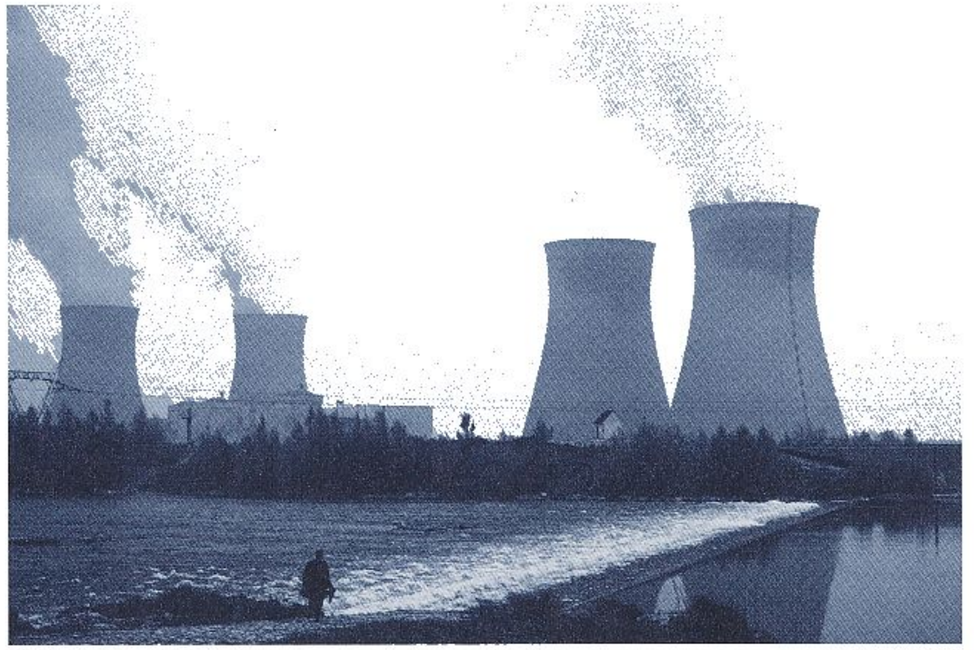
L'étude montre également que la climatisation est fortement utilisée en dehors des périodes de forte chaleur : les mois de mai, juin et septembre représentent plus de 43 % de la consommation annuelle.

Répartition des consommations électriques de pointe en été à 13 heures, dans l'est de la région PACA [27].



Climatisation	*40 %*	*Cuisson*	*4 %*
Froid	*12 %*	*Appareils électroniques*	*3 %*
Éclairage	*14 %*	*Autres usages*	*17 %*
Moteurs et procédés	*10 %*		

Le réseau électrique fragilisé



Août 2003 : les centrales nucléaires françaises sont en surchauffe.

Les pouvoirs publics en appellent en urgence à des gestes individuels pour réduire la consommation d'électricité, et autorisent précipitamment EDF à dépasser les températures maximales de rejet en rivière [28].

Cet épisode a révélé la grande vulnérabilité d'un système énergétique que la banalisation de la climatisation contribue à accroître. Au pic hivernal de production dû au chauffage électrique s'ajoute un pic estival dû à la climatisation au moment où le réseau est déjà particulièrement fragile : manque d'eau pour refroidir les centrales thermiques ou pour alimenter les barrages, câbles et composants électroniques en limite de température. D'où un risque réel de défaillance du réseau, comme en 2003 aux États-Unis et au Canada, puis en Italie.

Il est urgent d'anticiper, et de passer d'un système très centralisé – vulnérable pour de nombreuses raisons – à un système plus décentralisé, moins sensible à l'effet de dominos. Le système productif français repose essentiellement sur des centrales thermiques (dont les centrales nucléaires) : son efficacité stagne depuis 10 ans à moins de 37 %, alors que, en Europe, elle a progressé de 37,6 à 40,7 %, réduisant d'autant les rejets de chaleur dans l'air ou en rivière. Or, les centrales de cogénération ou à cycle combiné ont un meilleur rendement et sont moins sensibles au manque d'eau que les grandes centrales thermiques classiques puisque les pertes sont considérablement réduites.

Il est aussi indispensable de promouvoir des énergies renouvelables : pendant la canicule, seules les installations solaires ont vu leur productivité s'accroître !

Quand la fraîcheur accroit l'effet de serre

La climatisation a un double impact sur l'effet de serre, tant par les pertes dans l'atmosphère des fluides réfrigérants que par la surconsommation d'énergie, qu'elle soit électrique dans les bâtiments ou sous forme de carburant pour les véhicules.

Les fluides frigorigènes (production de froid et climatisation) sont responsables en France de l'émission de 5,7 millions de tonnes d'équivalent CO_2 pour les bâtiments résidentiels et tertiaires, et de 2,6 pour les transports frigorifiques.

Rien que pour ces deux secteurs (hors froid industriel), les émissions de gaz à effet de serre dues aux fluides frigorigènes sont donc égales à 8,3 millions de tonnes d'équivalent CO_2, soit près de une fois et demie celles de tous les transports aériens intérieurs !

Dans le résidentiel et le tertiaire, nous l'avons vu, l'utilisation de la climatisation provoque des pointes de consommation qui imposent à EDF la relance estivale des centrales thermiques au charbon ou au fioul, fortement émettrices de gaz à effet de serre.

Les émissions dues à la surconsommation à cause de la climatisation automobile sont plus importantes encore. Les 16 millions de véhicules mis en circulation chaque année en Europe vont émettre, à cause de celle-ci, 4,9 millions de tonnes d'équivalent CO_2 supplémentaires par an [29].

Un impact persistant sur la couche d'ozone

La mise au point des réfrigérants CFC tels que le fréon (R12) illustre bien la complexité des impacts environnementaux : résoudre un problème aboutit souvent à en créer un autre encore plus diffus, et finalement plus complexe à résoudre.

À l'origine, les CFC ont remplacé, grâce à leur excellente stabilité moléculaire, des produits moins stables dont l'usage pouvait s'avérer dangereux. Ce que personne n'avait imaginé, c'est que ces composés si stables grimperaient sans dommage jusqu'à la stratosphère, jusqu'à ce que des rayonnements ultraviolets de haute intensité cassent leur structure moléculaire, et qu'à cette altitude le chlore ainsi libéré révèle son formidable pouvoir destructeur : une seule molécule de chlore peut détruire 100 000 molécules d'ozone, qui nous protègent des effets nocifs du rayonnement ultraviolet.

En décembre 2000, 171 pays ont signé le protocole de Montréal, qui a organisé le remplacement progressif des CFC par d'autres fluides dont l'impact sur la couche d'ozone est moindre (HCFC) ou nul (HFC). Et la couche d'ozone stratosphérique semble aujourd'hui se reconstituer progressivement.

Ce protocole est un exemple réussi de réaction intelligente de la communauté internationale associant scientifiques, industriels et législateurs.

Il n'en reste pas moins que des quantités considérables de CFC sont encore en usage, et que leurs substituts HCFC altèrent toujours l'ozone stratosphérique.

Les canicules de demain

Clim'et châtiment ?

Le réchauffement climatique n'est plus une spéculation scientifique : tous les experts du GIEC (Groupement International d'Experts sur le Climat), sur la base d'une procédure collective exemplaire de validation scientifique de leurs travaux, s'accordent pour dire qu'un réchauffement du climat est inéluctable dans les prochaines années. Il est déjà trop tard pour l'éviter, car les gaz à effet de serre responsables sont déjà émis dans l'atmosphère... et nous n'avons aucun moyen de les récupérer ou de les neutraliser !

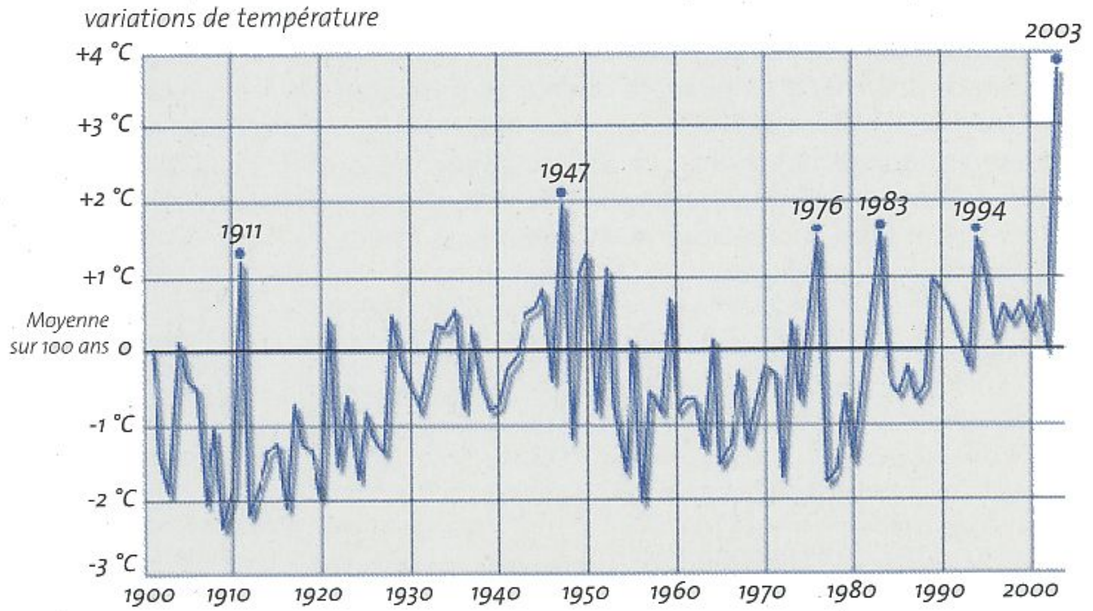
Les valeurs annoncées ne doivent pas faire illusion : derrière les moyennes se cachent des valeurs plus extrêmes ou des modifications profondes des grands équilibres climatiques, dont la période caniculaire de 2003 est vraisemblablement un signe avant-coureur.

Généraliser la climatisation des locaux et des véhicules alors que les procédés de climatisation ont un impact direct sur l'accroissement du changement climatique n'est évidemment pas une solution de bon sens : elle revient à donner un médicament soulageant localement la fièvre mais favorisant la maladie.

Comme en beaucoup d'autres domaines, une triple action est nécessaire :

- s'interroger tout d'abord sur nos gaspillages : est-il utile de tout climatiser ? N'avons-nous pas des alternatives plus simples ?
- augmenter l'efficacité de nos équipements ;
- produire enfin une énergie propre, renouvelable, sans émissions ni déchets[1].

Températures estivales annuelles moyennes comparées à la moyenne sur cent années (0).



[1] *Cette démarche est développée par l'association Négawatt (www.negawatt.org).*

Vivre avec le climat, et non contre lui !

"La maison brûle et nous regardons ailleurs", a déclaré Jacques Chirac à Johannesburg, au Sommet de la Terre, en 2002. Il se trompait : nous ne regardons pas ailleurs, nous attisons le feu, en cherchant à rester au frais.

La croissance immodérée de la climatisation est caractéristique du développement insoutenable vers lequel nous nous laissons glisser en privilégiant toujours l'immédiat sur l'avenir. Notre réaction collective est en effet étonnante : nous climatisons aujourd'hui nos logements et nos voitures par des moyens qui épuisent les réserves d'énergie de demain et renforcent les canicules d'après-demain.

Il ne s'agit pas d'interdire la climatisation : elle est indispensable, quand on ne peut faire autrement, pour de nombreux locaux industriels et pour des locaux à usage très spécifique : hôpitaux, salles de spectacles, salles informatiques, musées. Ces usages sont nécessaires et resteront marginaux dans la consommation d'énergie, et des techniques de climatisation à faible impact environnemental existent. En revanche, l'extension rapide de la climatisation à tous nos espaces de vie (logement, bureau, voiture) est particulièrement inquiétante.

Dans le résidentiel et le tertiaire, le développement anarchique et sans frein de la climatisation rappelle celui du chauffage électrique dans les années 1970 et 1980, dont on connaît les conséquences : un gouffre énergétique et financier pour les occupants des logements les moins isolés, se traduisant par un impact considérable sur la pointe de production électrique, et, pour finir, un suréquipement de production dont nous subissons aujourd'hui les conséquences.

Dans l'automobile, la banalisation d'une technique dont les impacts environnementaux sont multiples, mal connus, mal maîtrisés, relève d'une étonnante irresponsabilité.

Avant de chercher à diminuer la chaleur en produisant du froid, il faut adopter une stratégie simple et de bon sens : ne pas laisser le rayonnement solaire ou la chaleur entrer, diminuer les sources de chaleur intérieures, profiter de la fraîcheur nocturne, redécouvrir des systèmes simples de rafraîchissement naturel, adapter enfin notre corps et notre mode de vie aux variations du climat.

Vivre en bonne intelligence avec le climat, et non contre lui.

Il fait trop chaud chez vous...que faire ?

Pour tout le monde, les gestes qui ne coûtent rien...

Gestes	*Objectif*	*Commentaires*	*Voir page...*
Fermer fenêtres, stores et si possible volets dans la journée.	Empêcher le soleil et l'air chaud d'entrer.	Mesure simple, gratuite et essentielle qui ralentit le réchauffement de l'air intérieur et des murs.	52
Ouvrir les fenêtres en grand la nuit.	Rafraîchir l'air intérieur et accumuler de la fraîcheur dans les murs.	Un renouvellement rapide de l'air la nuit permet de rafraîchir les murs et de limiter le réchauffement dans la journée.	76 à 77
Supprimer aux moments les plus chauds les sources intérieures de chaleur non indispensables (cuisson, repassage, éclairages inutiles, etc.).	Éviter le réchauffement de l'air par la chaleur dégagée par ces appareils.	Dans les maisons bien isolées, la contribution des sources de chaleur intérieures au réchauffement de l'air intérieur peut être très importante.	66 à 68
Suspendre un drap mouillé devant la fenêtre.	Rafraîchir l'air par évaporation.	Vieux remède efficace à condition de remouiller le drap lorsqu'il est sec.	90
Mouiller le carrelage du sol.	Rafraîchir l'air par évaporation.	Efficace à condition de renouveler régulièrement le mouillage.	90
Faire sécher son linge, peu essoré, dans le logement plutôt que dans un sèche-linge.	Rafraîchit par évaporation, évite un apport supplémentaire de chaleur par le sèche-linge...	... et diminue votre facture d'électricité !	90
Se vêtir peu et porter des vêtements amples, en fibres naturelles. Bannir les produits anti-transpiration.	Faciliter l'évacuation de la sueur.	La transpiration est notre premier moyen de lutte contre la chaleur.	69

Rafraîchir le corps par des douches fréquentes, des serviettes humides, le port de vêtements légèrement humides, etc.	Augmenter la quantité d'eau évaporée au contact du corps.	Les douches rafraîchissent surtout si on s'essuie peu.	74
Boire abondamment et consommer des aliments aqueux (soupes, fruits, légumes).	Compenser les pertes d'eau par la transpiration.	De nombreuses personnes et notamment les personnes âgées, ont tendance à ne pas boire assez par les fortes chaleurs.	74

Pour les locataires (et les propriétaires), les équipements mobiles ou démontables

Équipement	*Objectif*	*Coût*	*Commentaires*	*Voir page...*
Stores extérieurs	Empêcher la pénétrationdu soleil.	Faible à moyen	Les stores extérieurs sont de loin les plus efficaces.	42 à 47
Ecrans réflecteurs (films solaires) collés sur vitrage.	Réfléchir le soleil.	Faible	Une solution rapide à défaut de pouvoir poser des stores.	44
Ventilateurs (de préférence de plafond).	Brasser l'air.	Faible	Le brassage de l'air facilite l'évaporation de la sueur.	78 à 79
Appareils de rafraîchissement par évaporation.	Diminuer la température de l'air intérieur.	Faible à moyen	L'humidification d'un air chaud et sec permet d'abaisser sa température.	83 à 90
Humidificateurs de table à brumisation	Rafraîchir localement l'air intérieur.	Faible	De faible débit, ces humidificateurs ont un effet très local et limité.	87
Plantes vertes	Contribuer au rafraîchissement.	Faible	La présence de plantes, dans la maison ou sur le balcon, contribue au rafraîchissement de l'air.	29, 85
Lampes à économies d'énergie	Diminuer les apports intérieurs de chaleur.	Faible	Les lampes fluocompactes émettent 4 à 5 fois moins de chaleur, à luminosité égale, que les ampoules classiques.	66 à 67

Appareils électroménagers et de bureautique efficaces (étiquette énergie A)	Diminuer les apports intérieurs de chaleur.	Moyen	L'énergie consommée par ces appareils se dissipe en chaleur dans la pièce : plus l'appareil est efficace et plus la chaleur est limitée.	67 à 68

Les équipements fixes, pour les propriétaires

Équipement	*Objectif*	*Coût*	*Commentaires*	*Voir page...*
Stores extérieurs, volets ou persiennes	Empêcher la pénétration du soleil.	Moyen	Les volets restent la protection la plus efficace, mais les stores laissent passer la lumière.	39 à 48
Végétalisation des murs et de l'environnement immédiat	Protéger les murs du soleil et créer un microclimat frais autour de l'habitation.	Faible à moyen	La présence de végétaux (plantes grimpantes sur les murs, sol végétalisé, arbres, haies) diminue nettement la température des murs et de l'air autour de la maison.	29 à 33
Isolation de la toiture ou des combles.	Empêcher le réchauffement par le plafond.	Moyen à élevé	Ne pas hésiter à poser une forte isolation : un choix toujours gagnant.	53 à 54
Installation d'un puits provençal	Rafraîchir l'air avant qu'il ne pénètre.	Moyen	Le puits provençal est un excellent moyen, très écologique, de rafraîchir l'air en été et de le préchauffer en hiver.	81 à 82
Isolation des murs, de préférence par l'extérieur	Empêcher le réchauffement par les murs.	Elevé	L'isolation par l'extérieur protège de la chaleur comme du froid.	54 à 56
Installation d'une paroi rafraîchissante (sol, murs, plafond)	Rafraîchir par rayonnement.	Moyen à élevé	Les mêmes parois peuvent aussi être utilisées pour chauffer en hiver.	101
Installer des parois intérieures (cloisons, sols) à inertie élevée.	Ralentir le réchauffement de l'air intérieur.	Moyen à élevé	Permet de compenser au moins partiellement une faible inertie du bâtiment.	59 à 60, 63

Créer des ouvertures pour favoriser la ventilation nocturne.	Renouveler rapidement l'air la nuit.	Moyen	Ces ouvertures doivent favoriser une forte ventilation naturelle du logement.	80 à 81
Installer d'une VMC à grand débit pour la surventilation nocturne.	Renouveler rapidement l'air la nuit.	Moyen	La ventilation mécanique ne se justifie que si une forte ventilation naturelle n'est pas possible.	80

"Diagnostic canicule" avant d'acheter ou de louer

Il est assez facile, avant d'acheter ou de louer une maison ou un appartement, de savoir comment il se comportera lors des chaleurs estivales. Voici les principales questions à se poser :

Question	*Commentaire*	*Voir page...*
Le logement visité se trouve-t-il en zone urbaine dense ?	Si oui, la température nocturne sera supérieure de plusieurs degrés à celle des environs.	17
Y a-t-il des arbres à proximité immédiate du logement ?	Si oui, la température de l'air autour de la maison restera sensiblement plus fraîche qu'en l'absence d'arbres.	29
Les arbres font-ils de l'ombre à la maison ?	Selon l'emplacement des arbres par rapport à la maison et aux principales ouvertures, leur effet protecteur sera plus ou moins efficace.	29
Comment sont orientées les fenêtres du séjour et des chambres ?	Leur orientation aura un impact d'autant plus fort sur le réchauffement du logement que les fenêtres sont moins bien protégées du rayonnement solaire.	35 à 38
Le logement est-il pourvu de grandes baies vitrées ?	Si oui, il est essentiel de vérifier qu'elles sont bien protégées du soleil ou que la pose de protections efficaces est envisageable.	35 à 36
S'il s'agit d'un appartement, se trouve-t-il dans les étages supérieurs, voire au dernier étage ?	Il fait toujours plus chaud au dernier ou à l'avant–dernier étage d'une maison ou d'un immeuble.	49

Le bâtiment est-il pourvu d'un débord de toiture important ?	Un tel débord sera efficace pour la façade plein sud, mais peut s'avérer illusoire pour les autres orientations.	37
En quels matériaux les murs sont-ils construits ?	L'inertie, liée à la nature et à l'épaisseur des murs, est un facteur essentiel du confort d'été.	57 à 64
Les fenêtres sont-elles pourvues de doubles vitrages ?	Un double vitrage évite que la chaleur estivale ne pénètre lorsque l'air extérieur est plus chaud que le logement.	39 à 40
Les fenêtres sont-elles pourvues de volets ou de stores extérieurs ?	L'absence de protections de ce type est un gros handicap. En leur absence, se renseigner sur la possibilité d'en poser (dans le cas où vous achetez).	41 à 47
La disposition des pièces permet-elle une ventilation transversante (fenêtres situées sur des façades opposées permettant une surventilation nocturne efficace) ?	Ce critère est particulièrement important lorsque les autres facteurs sont défavorables, car une bonne ventilation permet de les compenser dans une certaine mesure.	75 à 78
Le logement est-il équipé d'une ventilation mécanique contrôlée ?	La présence d'une VMC permet d'envisager l'installation d'un système de surventilation.	80
Les murs sont-ils isolés ?	L'isolation protège contre le réchauffement des murs et de l'air intérieur.	54 à 56
Les murs sont-ils isolés par l'extérieur ?	L'isolation par l'extérieur augmente l'inertie et amortit les températures maximales.	53 à 54
Les combles sont-ils isolés ?	Une bonne isolation des combles est essentielle, surtout dans le cas d'un logement situé au dernier étage.	53 à 54
Si un certain nombre de facteurs défavorables ont été identifiés, les travaux nécessaires pour les corriger pourront-ils être réalisés ?	Même une maison ayant tout pour se réchauffer rapidement peut être nettement améliorée, mais il faut en évaluer le coût. Dans le cas d'un achat, une maison un peu plus chère mais mieux conçue peut être une source d'économies !	27 à 38

Des livres, des sites pour en savoir plus

Habitat et architecture climatique

Architecture climatique. Tome 1 : *Bases physiques*, Pierre Lavigne, EDISUD, 1994 ; Tome 2 : *Concepts et dispositifs*, Alain Chatelet, Pierre Fernandez et Pierre Lavigne, EDISUD, 1998.
Très technique, deux ouvrages de référence.

Architecture naturelle, en quête du bien Être, David Pearson, Éditions Terre Vivante, 2003.
À la découverte d'une architecture réconciliant écologie, santé et esprit.

Éco-logis, la maison à vivre, Öko-test, adaptation française par Terre Vivante, Éditions Könemann, 1999.
Un livre très complet et très bien illustré sur l'habitat écologique, faisant une large part aux aspects énergétiques.

Guide de l'Architecture Bioclimatique, Observ'ER, 1996-1999.
En trois volumes, un cours fondamental mais très accessible d'architecture bioclimatique. Le troisième volume porte sur le construction en pays chauds.

L'architecture écologique, Dominique Gauzin-Müller, Éditions Le Moniteur, 2001.
29 exemples européens d'architecture et d'urbanisme écologiques.

L'habitat écologique, Friedrich Kur, Éditions Terre Vivante, 1998.
Quels matériaux choisir pour construire sainement ?

L'isolation écologique, Jean-Pierre Oliva, Éditions Terre Vivante, 2001.
Un ouvrage très complet présentant les matériaux et les techniques pour isoler sa maison écologiquement.

La maison des négawatts, Thierry Salomon et Stephane Bedel, Éditions Terre Vivante, 2000.
Un guide de référence sur tous les moyens de réduire la consommation d'énergie chez soi.

Les clés de la maison écologique, Oïkos, Éditions Terre Vivante, 2002.
Manuel d'initiation à la construction écologique.

Maisons bio, Julien Fouin, Éditions Flammarion, 2000.
Ouvrage d'initiation à l'habitat écologique.

Maisons écologiques d'aujourd'hui, Claude Aubert, Jean-Pierre Oliva et Antoine Bosse-platière, Éditions Terrre Vivante, 2002.
32 exemples de maisons écologiques en France

Confort d'été, rafraîchissement et végétalisation

Architectures d'été, Jean-Louis IZARD, EDISUD, 1993.
Un ouvrage très complet sur le confort d'été et les protections contre l'ensoleillement.

Caractéristiques pour un bâtiment méditerranéen, ARENE, ICAEN et PUNTO ENERGIA, Commission Européenne, 1999.

Confort d'été, rafraîchissement ou climatisation des bâtiments, Colloque ADEME, Sophia-Antipolis, 1995.

Guide climatisation et santé, Guide UNICLIMA, Éditions SEPAR, 1999.

Solutions de pompes à chaleur en résidentiel individuel, EDF, FFB et COSTIC, Éditions SEBTP, 2004.

En langue anglaise :

Design Tools for Low Energy Cooling : Technology Selection and Early Design Guidance, Nick Barnard and Denice Jounzens, ECBCS, International Energy Agency, 2001.

Low Energy Cooling – Case Study Buildings, M. Zimmermann and J. Andersson, ECBCS, International Energy Agency, 1998.

Passive and Low Energy Cooling of Buildings, Baruch Givoni, John Wiley and sons, 1994.

Passive Cooling of Buildings, Santamouris, Asimakopoulos, Argiriou and al., James and James, 1996.
Un ouvrage technique très complet et didactique.

Végétalisation des toitures, des murs et de l'espace urbain

La végétalisation des toitures, Brigitte Kleinod, Éditions Ulmer.
Guide pratique des différentes techniques de végétalisation des toitures.

En langue italienne :

Pareti verdi, Antonella Bellomo, Esselibri, 2003.
Manuel technique sur la végétalisation des façades.

Spazi verdi urbain, Gianni Scudo et Jos' Manuel Ochoa de la Torre, Esselibri, 2003.
Manuel technique de la végétalisation des espaces urbains.

Revues

CLER Infos
Le bulletin bimestriel du CLER, le Comité de Liaison Energies Renouvelables.
2b, rue Jules Ferry, 93100 Montreuil
Tél : 01 55 86 80 00 - Tél. : 01 55 86 80 01
mél : info@cler.org – site internet : www.cler.org

L'écologiste
Revue trimestrielle sur les thèmes écologiques. Édition française de *The Ecologist*.
En kiosques.
25, rue de Fécamp, 75012 Paris
Tel 01 46 28 70 32 - Fax 01 43 47 03 38
mél : contact@ecologiste.org – site internet : www.ecologiste.org

La maison écologique
Seule revue française consacrée à l'habitat écologique. En kiosques.
BP 60 145, 14504 Vire cedex
Tel : 02 31 66 96 49 - Fax : 02 31 66 98 47
mél : la.maison.eco@wanadoo.fr

La revue durable
Très bonne revue suisse sur le développement durable.
Cerin Sarl, rue de Lausanne 91, CH-1700 Fribourg, Suisse
Tel : 00 41 26 321 37 10 - Fax : 00 41 26 321 37 12
site internet : www.larevuedurable.com

Les Quatre Saisons du Jardinage
La référence du jardinage biologique, avec une bonne rubrique consacrée à l'habitat écologique et à l'énergie.
Domaine de Raud, 38710 Mens
Tel : 04 76 34 80 80 – Fax : 04 76 34 84 02
mél : antoine.bosse-platiere@terrevivante.org – site internet : www.terrevivante.org

Systèmes solaires
La revue française de référence sur toutes les énergies renouvelables.
146, rue de l'Université, 75007 Paris
Tél : 01 44 18 00 80 - Fax : 01 44 18 00 36
site internet : www.energies-renouvelables.org

Quelques sites Internet

www.cler.org
Annuaire, agenda, information sur les énergies renouvelables.

www.cr3e.com
Annuaire en ligne des acteurs de la construction écologique. Informations diverses et actualités sur ce thème.

www.negawatt.org
Site de l'association négaWatt, qui milite pour un avenir énergétique sobre, efficace et renouvelable. Des nombreux documents et des liens pertinents.

www.terrevivante.org
Tout sur l'écologie pratique avec Terre Vivante : le Centre Ecologique, les livres et la revue "Les Quatre Saisons du jardinage".

Expositions

L'exposition "La nouvelle maison des Negawatts" consacre une large place aux alternatives à la climatisation. Elle est visitable de mai à octobre au Centre Terre Vivante.
Terre Vivante, Domaine de Raud, 38710 Mens
Tél 04 76 34 80 80 - Fax 04 76 34 84 02
mél : info@terrevivante.org - site internet : www.terrevivante.org

Adresses utiles

Cette liste d'adresse n'est pas exhaustive : elle regroupe essentiellement les entreprises et organismes cités dans ce livre ou pouvant être utiles à la mise en œuvre des techniques présentées. Dans les techniques alternatives à la climatisation, de nombreux matériels ne sont pas disponibles en France ou sont destinés aux professionnels. Pour ces matériels, nous ne citons que le nom des firmes qui les fabriquent ou les importent. Des informations plus détaillées sont disponibles sur Internet.

Organismes de conseils

ESPACES INFO ENERGIE
Au nombre d'environ 200 et répartis sur l'ensemble du territoire français, les Espaces Info Energie (EIE) ont pour mission de répondre aux attentes des particuliers, des petites entreprises et des petites collectivités en matière de maîtrise de l'énergie et d'énergies renouvelables. Ce réseau est coordonné par l'ADEME. Pour connaître leur localisation, on peut téléphoner au numéro Azur du service d'information de l'ADEME : 0810 060 050 ou consulter le site www.ademe.fr à la rubrique " particuliers ".

ADEME
27, rue Louis Vicat, 75015 Paris
Tél : 01 47 65 20 00 - Fax : 01 46 45 52 36
site internet : www.ademe.fr
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Des délégations existent dans toutes les régions françaises.

CAUE
Fédération des CAUE, 20-22 rue du Commandeur, 75014 Paris
Tél : 01 43 22 07 82 - Fax : 01 43 21 42 89
Les Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement (CAUE) existent dans presque tous les départements. Dans la plupart d'entre-eux, des architectes-conseils y tiennent des permanences et peuvent fournir des conseils personnalisés. La liste des CAUE départementaux est disponible sur : www.fncaue.asso.fr

Associations techniques et réseaux

TERRE VIVANTE
Domaine de Raud, 38710 Mens
Tél : 04 76 34 80 80 - Fax : 04 76 34 84 02
mél : info@terrevivante.org – site internet : www.terrevivante.org
Centre écologique ouvert au public de mai à octobre, présentant notamment l'exposition "La nouvelle maison des négawatts", qui fait une large place aux alternatives à la climatisation. Terre Vivante édite également la revue Les Quatre Saisons du Jardinage et de nombreux livres sur l'écologie pratique sur le jardinage biologique et l'habitat écologique.

CLER
2b, rue Jules Ferry, 93100 Montreuil
Tél : 01 55 86 80 00 - Fax : 01 55 86 80 01
mél : info@cler.org – site internet : www.cler.org
Le Comité de Liaison Energies Renouvelables regroupe de nombreuses associations et professionnels des énergies renouvelables en France.

GEFOSAT
22, boulevard Foch, 34140 Mèze
Tél : 04 67 18 77 02 - Fax : 04 67 43 01 24
mél : contact@gefosat.org – site internet : www.gefosat.org
Association technique de conseil, d'information et d'études sur les énergies renouvelables et la maîtrise de l'énergie – située dans l'Hérault.

ASDER
562, avenue du Grand Ariétaz, BP 99499, 73094 Chambéry cedex
Tél : 04 79 85 88 50 - Fax : 04 79 33 24 64
mél : info@asder.assoc.fr - site internet : www.asder.asso.fr
Association Savoyarde pour le Développement des Énergies Renouvelables. Conseils, études, stage de formation professionnelle sur l'énergie et l'environnement.

Bureaux d'études

IZUBA énergies
22, boulevard Foch, BP 147, 34140 Mèze
Tél : 04 67 18 31 10 - Fax : 04 67 74 18 67
mél : contact@izuba.fr – site internet : www.izuba.fr
Bureau d'études spécialisé dans les études d'optimisation énergétique des bâtiments et le développement de logiciels de simulation dynamique (PLEIADES + COMFIE).

Cabinet ENERTECH
26160 Féline-sur-Rimandoule
Tél : 04 75 90 18 54 - Fax : 04 75 90 18 54
mél : sidler@club-internet.fr – site internet : http://perso.club-internet.fr/sidler/
Bureau d'études dirigé par Olivier Sidler, spécialisé dans les mesures et les analyses sur l'efficacité énergétique, ainsi que dans les bâtiments à basse consommation.

TECSOL
105, rue Alfred Kastler, Technosud, BP 434, 66004 Perpignan cedex
mél : info@tecsol.fr – site internet : www.tecsol.fr
Bureau d'études spécialisé dans le solaire thermique. Plusieurs réalisations en climatisation solaire. Tél : 04 68 68 16 40 - Fax : 04 68 68 16 41

Stores extérieurs et intérieurs, films solaires

Il existe de très nombreux fabricants de stores et films solaires, qu'il est impossible de citer tous. Nous nous limiterons ici à ceux que nous avons identifiés comme fabricants des matériels ayant de bonnes performances en matière de protection solaire. Cette liste ne prétend pas être exhaustive :
Stores : Stores de Tournus, Alizé, Soliso, Storeco, Solar Screen, stores Faber, Soltis, SAB.
Films solaires : Réflectiv, DTI-France, NPS, Technimat, Solarscheck, Confortglass.

Systèmes d'accrochage pour plantes grimpantes

CARLSTAHL
BP 74693, 67458, Mundolsheim cedex
Tel 03 88 18 37 00 - Fax03 88 20 51 96,
mél : carlstahlfr@carlstahl.fr
site internet : www.carlstahl.fr

MSG JAKOB
9, rue de Chateaudun, 75009, Paris
Tel 01 53 25 05 50 - Fax 01 53 25 05 59,
mél : inox@jakob-fr.com
site internet : www.jakob-fr.com

Toitures végétalisées

ECOSEDUM
80 rue Nationale, BP 50062, 57192 Florange cedex
Tel 03 82 59 47 52 - Fax 03 82 59 47 59
mél : info@ecosedum.com - site internet : www.ecosedum.com

Rafraîchisseurs par évaporation à usage résidentiel.

Les fournisseurs de rafraîchisseurs par évaporation proposant des matériels pour les particuliers sont encore peu nombreux. Nous avons identifié :

ALPATEC
Distribué par White and Brown, 6, rue de l'industrie, B.P. 533, 89105 Sens
Tel : 03 86 83 64 12 - Fax : 03 86 83 90 91
mél : infoconso@whiteandbrown.com – site internet : www.whiteandbrown.com
En vente notamment dans certains magasins de bricolage et d'électroménager, et par correspondance par Provence-Outillage.

BREEZAIR
Les Guinards, 38160 Saint-Pierre-de-Cherennes
Tel 04 76 36 03 58 - Fax 04 76 36 04 73
mél : breezair@wanadoo.fr – site internet : www.breezair.org
Fabrique surtout des matériels professionnels, mais vend également, sous le nom Millenia (marque Convair), un modèle destiné à l'usage résidentiel. Vente principalement par correspondance et sur les foires.

PURLINE
Fabriqué par WinEurope, 8, rue Rambure, 60800 Auger Saint-Vincent,
Tel 02 37 35 45 74 - Fax 02 37 91 00 87
mél : info@purline.com

OXYCOM BV
Kaagstraat 17-19, P.O. Box 139, NL – 8100 AC Raalte, Pays-Bas
Tel 00 31 (0)572 34 94 00 - Fax 00 31 (0)572 34 94 99
mél : info@oxy-com.com - site internet : www.oxy-com.com
Rafraîchisseur par évaporation indirecte commercialisé à partir de mai 2004.
Distributeur en France : Société AREIMIS
Tel 01 45 16 06 26 - Fax 01 45 16 06 86
mél : info.oxycom@areimis.fr

MANUTAN
Tel 01 34 53 35 35 - internet : www.manutan.fr
Vente par correspondance de matériels professionnels. Vend un rafraîchisseur d'air.

SOLIS AG
Firme suisse fabriquant notamment des ventilateurs de plafond et des petits rafraîchisseurs par évaporation. Vend uniquement en Suisse.
CH – 8152 Glattbrug-Zürich
Tel 00 41 (0)1 810 18 18 - Fax 00 41 (0)1 810 30 70
mél : info@solis.ch – site internet : www.solis.ch

Matériels pour le tertiaire ou l'industrie
Fabricants ou distributeurs : Breezair, Polypoles (Climéo), JS Humidificateurs (HumEvap), Air Refreshing Control (Areco), DeltaNeu (Econoclim), Met-Mann (Aerdimol, Humicool), Fun'air.

Humidificateurs-rafraîchisseurs de table

Ces appareils, de petite taille et destinés à humidifier, ne peuvent rafraîchir qu'un espace restreint mais non une pièce dans son ensemble. Ils sont proposés par plusieurs fabricants d'appareils électroménagers sous le nom d'humidificateurs.

Fontaines à ruissellement ou murs d'eau

On trouve de nombreux fabricants et distributeurs sur internet sur des sites anglophones (sous les mots-clés de " indoor water falls " ou " indoor water fountains ") ou germanophones (sous le mot-clé de "Wasserwand "). En France, on trouve des produits artisanaux haut de gamme.

DECOR ACTION
ZI Nord Les Aigais, 2, chemin de la Fonderie, 69530 Brignais
Tel 04 72 31 69 27 - Fax 04 72 31 06 38
site internet : www.decor-action.com

Brumisation

DUTRIE "THE FOG SYSTEM"
Appareils de brumisation pour l'extérieur (terrasse, jardin, piscine, usages professionnels)
Z.I. du Bois des Lots, 26130 Saint-Paul-Trois-Châteaux
Tel 04 75 96 63 09 - Fax 04 75 96 63 57
site internet : www.dutrie.com

Planchers, plafonds, poutres et murs rafraîchissants

Nous avons sélectionné quelques fournisseurs proposant des matériels qui nous semblent particulièrement intéressants et qui ont réalisé des installations pour le résidentiel.

AKTERRE
Le Gît, 38210 Saint-Quentin-sur-Isère
Tel 04 76 07 42 05 - Fax 04 76 07 42 07
mél : info@akterre.com – site internet : www.akterre.com
Spécialisé dans les enduits en terre crue et les murs chauffants/rafraîchissants en terre crue, avec tuyaux en cuivre.

KARO SYSTEMES
Centre d'Affaires International, 13, chemin du Levant, 01213 Ferney-Voltaire cedex
Tel 04 50 28 02 20 - Fax 04 50 28 02 04
Mél : info@karosystèmes.com – site internet : www.karosystemes.com
Fabrique des plafonds (et éventuellement des murs) chauffants ou rafraîchissants sous la forme de nappes de fins tuyaux de polypropylène ou de cuivre.

ENERGIE-SOLAIRE
C.P. 353, Z.I. Île Falcon, CH-3960 Sierre, Suisse
Tel 00 41 27 455 22 12 - Fax 00 41 27 455 22 02
E-mail : info@energie-solaire.com - site internet : www.energie-solaire.com
Fabrique des panneaux chauffants/rafraîchissants en acier inoxydable pouvant également constituer des toitures solaires.

Autres fournisseurs
Les fournisseurs ci-après travaillent essentiellement pour le tertiaire :

PERREUIL (planchers), ROBUR (planchers et plafonds), HALTON (poutres), CARRIER (plafonds), STIFAB (allèges Primo), AIRKING (poutres), BARCOL-AIR (plafond Redec), SYSTEM SERVICE (panneaux), etc.

Pour la voiture et les camping-car

OXYCOM BV
Rafraîchisseur Oxycom cabin 400. Voir adresse OXYCOM ci-dessus.
Ce matériel est distribué par le réseau du fabricant de camping-cars HYMER :
Hymermobil, BP 46, 68702 Cernay cedex
Tel 03 89 75 64 87 - Fax 03 89 75 70 44

SEDAO
site internet : www.sedao.com
Vente sur internet d'un ventilateur solaire pour voiture.

L'HOMME MODERNE
Vepex 5000, TSA 30702, 94971 Créteil cedex 9
Tel : 01 49 82 39 00 - Fax : 0820 000 016
site internet : www.lhommemoderne.com
Vend un ventilateur solaire pour voiture et un rafraîchisseur d'air par évaporation. Vente dans les magasins " L'homme moderne ", par correspondance et par Internet.

Matériels divers

CONRAD
Vente par correspondance et par Internet de matériels électroniques. Grand choix de lampes fluocompactes et de thermomètres digitaux multifonctions.
59861 Lille cedex 9
Tel 0892 895 555 - Fax 0892 896 001
site internet : www.conrad.fr

ALDES
Matériel de ventilation
20, bd Joliot-Curie, 69694 Vénissieux cedex
Tel : 0810 202 224
site internet : www.aldes.fr

Petit lexique du rafraîchissement

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

Capacité thermique : Capacité d'un matériau à accumuler de la chaleur.

CFC : Chlorofluorocarbones. Produits chimiques (comme le fréon) utilisés comme fluides réfrigérants, mousses isolantes et bombes aérosols. Les CFC contribuent à l'effet de serre et attaquent la couche d'ozone.

CO2 : Gaz carbonique. Lors d'une combustion, le carbone (C) contenu dans les hydrocarbures ou le charbon se combine avec l'oxygène de l'air (O2) pour produire du gaz carbonique. Le CO2 est un des principaux gaz responsables de l'effet de serre.

Cogénération : Production conjointe de chaleur et d'énergie mécanique, qui est le plus souvent convertie en électricité.

Conductivité : Capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Le coefficient lambda de conductivité s'exprime en watt par mètre et par degré kelvin (W/m.K).

COP : Coefficient de performance d'une pompe à chaleur. Un COP de 3 signifie que, pour chaque kWh d'énergie mécanique fourni, la pompe à chaleur fournit 3 kWh de chaleur.

CTA : Centrale de traitement d'air.

Désorption : À l'inverse de l'absorption, la désorption consiste en la séparation de deux corps, par exemple par ébullition.

Diffusivité : Capacité d'un matériau à transmettre un flux de chaleur.

Double flux rafraîchi : Sur une ventilation mécanique double flux, il s'agit de l'ajout d'un mini-caisson de traitement d'air comprenant un groupe froid ; ce dernier permet de rafraîchir l'air entrant et constitue une alternative à la climatisation traditionnelle.

dB : Abréviation de décibel, unité de mesure du niveau de pression sonore. Un décibel est le plus faible niveau de son que peut percevoir l'oreille humaine. On parle de dB(A) quand la mesure porte sur l'ensemble des fréquences audibles.

EER : Energy Efficiency Ratio. Coefficient de performance d'une machine frigorifique.

Énergie finale : Énergie consommée par l'utilisateur final (qu'il s'agisse d'un particulier, d'une entreprise ou d'une collectivité).

Énergie primaire : Énergie contenue dans les ressources énergiques brutes (pétrole, gaz, charbon).

Free cooling : Refroidissement qui n'utilise pas de production de froid artificiel par cycle thermodynamique, mais se base sur des sources naturelles de froid, comme l'air extérieur nocturne en été.

HCFC : Hydrochlorofluorocarbones. Produits de substitution des CFC, 20 fois moins nocifs pour la couche d'ozone.

HFC : Hydrofluorocarbones. Produits de substitution des CFC et des HCFC, inoffensifs pour la couche d'ozone.

Humidité absolue de l'air : Quantité d'eau (en grammes par m3) contenue dans l'air sous forme de vapeur.

Humidité relative de l'air : Pourcentage de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à la quantité maximale de vapeur que celui-ci peut contenir à une température donnée.

HVAC : Sigle anglais pour " Heating, Ventilation, Air Conditioning " caractérisant la technologie du chauffage, de la ventilation et de l'air conditionné.

Isolation extérieure : Isolation placée sur la face extérieure du mur d'une habitation.

Isolation intérieure : Isolation placée sur la face intérieure d'un mur, coté habitation.

Joule : Unité d'énergie dans le système international.

kWh (kiloWattheure) : Unité d'énergie égale à l'énergie consommée par un appareillage d'une puissance de 1000 W durant une heure (ne pas écrire kW/h, erreur fréquente).

Masques à l'ensoleillement : Obstacle au rayonnement solaire. Les masques peuvent être très éloignés (une montagne), proches (la maison d'en face, un arbre) ou intégrés à la construction (un balcon).

Monomur : Mur dont l'isolant est réparti dans toute l'épaisseur. On parle aussi de mur à isolation répartie.

Mtep : Unité de consommation d'énergie conventionelle, égale à un million de tonnes d'équivalent-pétrole (voir Tep).

MW : Mégawatt, Unité de puissance valant un million de watts (voir Watt).

Négawatt : Watt économisé – et donc non produit – grâce à une conception ou un équipement utilisant l'énergie de manière plus efficace.

ODP : Ozone Depletion Potentiel (" potentiel de destruction de l'ozone "), indice caractéristique de l'effet d'un gaz sur la couche d'ozone. Par convention, 0 = aucun effet, 1 = effet du fluide R12.

Pont thermique : Point de liaison entre des éléments d'un bâtiment, au niveau duquel se produisent des échanges thermiques avec l'extérieur. Par exemple, un pont thermique peut exister à la jonction d'une dalle de sol et d'un mur vertical, ou autour d'une fenêtre.

PRG : Pouvoir de Réchauffement Global. En anglais : GWP, Global Warming Power. Par convention, 0 = aucun effet, 1 = effet du gaz carbonique (CO_2).

Puissance : La puissance correspond à une quantité d'énergie dépensée par unité de temps. L'unité de puissance est le watt (W), qui correspond à une énergie d'un Joule par seconde. 1000 W = 1 kilowatt (en abrégé 1 kW).

Rayonnement solaire : Ensemble des rayonnements émis par le soleil. La lumière est la partie visible du rayonnement, elle correspond à la plage de longueurs d'onde comprise entre 380 et 780 nanomètres, qui s'étend du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune. Le rayonnement solaire de plus petite longueur d'onde est l'ultraviolet, partiellement intercepté par la couche d'ozone dans la haute atmosphère. Au-delà du spectre visible, le rayonnement solaire de plus grande longueur d'onde est appelé infrarouge (chaleur), absorbé en partie par la vapeur d'eau de l'atmosphère.

Régulation : Système permettant de commander un appareil de chauffage ou de climatisation en fonction de différentes mesures, par exemple la température du logement et la température extérieure.

Stratification : Répartition de l'air ou de l'eau selon la température, du plus froid (en bas) au plus chaud (en haut).

Tep : Tonne d'équivalent-pétrole. Une tep équivant à l'énergie fournie par une tonne de pétrole.

TWh : Térawattheure, soit un milliard de kilowattheures

Watt : Unité de puissance du système international.

Index

A

Actinidia, 30
ADSL 68
Adsorption solide-gaz 122
Aérateurs de vitrages 119
Air conditionné 93
Air intérieur 14
Albédo 29, 34
Aménager sa maison 71
Appareils ménagers 67
Arbre 28
Architecture 16, 27
Argile expansée 56
Argon 40
Asphalte 29
Avancées de toiture 37

B

Balcons 37
Bignone 31
Bois feutré 56
Brassage de l'air 75
Brasseurs d'air 79
Brique monomur 60
Bruit 108, 130
Brumisateurs 86
Bureautique 68

C

Camping-car 120.
Canicule 13, 15, 22, 23, 49, 135
Capacité thermique 59
Capteurs solaires sous vide 124
Casquettes 37
CFC 98
Chaleur 19, 24
Chaleur d'une personne 65
Chaleur interne (apports) 65
Chanvre 56
Chèvrefeuille 31
Clématite 31
Climatisation, 91 et suiv., 93
Climatisation (conseils d'utilisation) 109
Climatisation à absorption 122
Climatisation automobile 111 et suiv.
Climatisation automobile (coût) 117
Climatisation domestique (coût) 108, 109
Climatisation écologique 120. et suiv.
Climatisation et santé 107
Climatisation par adsorption 122
Climatisation par évaporation indirecte 121
Climatisation réversible 104
Climatisation solaire, 123
Climatiseur (performances) 106
Climatiseur domestique 103 et suiv. 105
Climatiseur monobloc de fenêtre 104, 106, 107
Climatiseur monobloc mobile 104, 106, 107
Climatiseur monosplit 104, 106, 107
Climatiseur multisplit 104, 106, 107
Coanda (effet) 110
Coefficient d'absorption 34
Coefficient de réflexion 34
Combles perdus 53
Condensation 100
Condenseur, 104
Conduction 19
Confort thermique 20
Congélateur 67
Consommation d'énergie (climatiseur automobile) 111, 113
Consommation d'énergie (production de froid) 96, 131, 132
Convection 19

COP 95
Corps 30, 69 et suiv.
Couche d'ozone 130, 133
Couleurs réfléchissantes 34
Coup de chaleur 74
Coût de la climatisation 108, 109, 117
Cuisson au four 68
Cycle thermodynamique (d'un climatiseur) 105

D

Déchets radioactifs 130
Déshydratation 24
Diffusivité 61
Double vitrage 40
Drap mouillé 90

E

Éclairage 66
EER 95
Effet de serre 130, 134
Effusivité 58, 59, 61
Émissions d'oxyde d'azote 114
Émissions de CO_2 (voiture) 114
Émissions polluantes 114
Énergie renouvelable et PAC 96
Énergies fossiles 130
Environnement 127 et suiv., 130
Environnement végétal 28
Étages 49
Étiquette énergie 107
Évaporateur 104
Évaporation (de la sueur) 19, 69, 70
Évapotranspiration 29, 34, 83
Éventail 75
Extracteur statique 78

F

Façades végétalisées 28
Facteur solaire 39, 41
Fenêtres (choix) 39
Fenêtre de toiture 35
Films solaires 45
Fluide frigorigène 91, 98
Fluide frigorigène (voiture) 115
Fluides " verts " 99
Flux thermique humain 24
Fontaines à ruissellement 89
Fontaines d'intérieur 89
Formaldéhyde 14, 71
Fréon (R12) 98
Froid (production) 89 et suiv.
Froid (systèmes de distribution) 92
Froid (systèmes de production) 92

G

Gaz à effet de serre 130
Gazon 34
Glandes sudoripares 69
Glycine 30, 31

H

Haies 28
HCFC 99
Herbe 29
HFC 99
Hortensia grimpant 31
Humidificateurs 86
Humidité de l'air (taux) 84
Humidité relative 100
Hygrométrie 21
Hygrométrie de l'air 70, 84
Hyperthermie 24

I

Inertie 26, 51 et suiv.
Inertie des matériaux 59
Inertie thermique 57
Isolants écologiques 55,56
Isolants minces 52
Isolation 49 et suiv.
Isolation d'un grenier 53
Isolation de toiture 52
Isolation des murs 54
Isolation du sol 55

J

Jalousies 42
Jasmin officinal 30

L

Laine de cellulose 56
Laine de lin 56
Laine de mouton 56
Lampe à incandescence 66
Lampe fluocompacte 66
Lampe halogène 66
Legionella, légionellose 18, 108
Légumes 73
Liège expansé 56
Lierre 31

M

Machine à absorption 95
Machines frigorifiques 91 et suiv.
Maison semi-enterrée 64
Marbre 56
Masques 35, 37
Matériaux réfléchissants 34
Médicaments 74
Meubler sa maison 71
Monomur 60
Moucharabieh 77
Mouvement de l'air 21
Murs d'eau 89

O

Ordinateur de bureau 68
Ordinateur portable 68
Orientation (vitrages) 35, 36
Ossature bois 58
Ozone 98

P

PAC (voir pompe à chaleur)
PAC à moteur à gaz 96
PAC à moteur électrique 96
Paille 56
Parois rafraîchissantes 101
Pénétration de l'air chaud 25
Pénétration du soleil 25
Pergolas 28, 30, 37
Perlite 56
Persiennes 42
Plafond rafraîchissant 102
Plancher rafraîchissant 102
Plancher sur cave 55
Plancher sur terre-plein 55
Plancher sur vide sanitaire 55
Plantes d'appartement 85
Plantes grimpantes 28
Point de rosée 84
Polluants, 130
Pollution, 14
Pompe à chaleur (PAC), 91 et suiv., 96
Pompe à chaleur réversible, 93, 94
Poutres froides, 99
Production de chaleur, 25
Protections architecturales, 37
Protections de fenêtres, 39, 47
Protections solaires, 39
Publicité, 129
Puits canadien 81
Puits provençal, 81, 82, 121

Q

Qualité de l'air (voiture) 116
Qualité de l'air extérieur 130
Quatre Saisons du Jardinage, 22, 23

R

Rafraîchir après dessication 88
Rafraîchir en humidifiant 85
Rafraîchir en ventilant 75 et suiv.
Rafraîchir (par évaporation) 8
Rafraîchir par évaporation indirecte 88
Rafraîchisseur évaporatif 120
Rafraîchisseurs d'air 87
Rayonnement 19
Réfrigérateur 67, 68
Réglementation thermique 48
Réhydratation 73

Renouvellement de l'air 26, 75
Repassage 68
Réseau électrique 133
Revêtement du sol 29, 71
Revêtement minéral (du sol) 29
Roseaux 56

S

Sédum 33
Sol nu 29
Sol végétalisé 9
Soupes froides 73
Stores à enroulement 43
Stores à l'italienne 42
Stores à la suisse 42
Stores à projection, 42
Stores bannes 43
Stores extérieurs 42
Stores intérieurs 44, 45
Stores markisolettes 42
Stores vénitiens 43
Subventions 128
Surchauffe 16, 17
Surmortalité due à la canicule 14
Surventilation nocturne 80
Système Inverter 106
Systèmes à détente directe 91

T

Téléviseur 68
Température dans un mur 61
Température de l'air 20
Température de référence 48
Température des parois 20
Température du sol 29
Température intérieure 51
Température ressentie 21
Thermomètre 76
Toitures végétales 28, 33
Toitures-terrasses 33
Tours à vent 72
Tours de refroidissement 18
Transpiration 24, 69

U

Urbanisme 17

V

Vaisseaux sanguins 69
Vapeur d'eau 83
Végétalisation du sol 34
Végétation 28
Végétation murale 30
Ventilateur (choix) 79
Ventilateur de plafond 78
Ventilation 75 et suiv.
Ventilation naturelle 77
Ventilation par déplacement 100
Ventilo-convecteurs 99
Vermiculite 56
Verre cellulaire 56
Vêtements 70
Vigne 30
Vigne vierge 31
Vitesse de l'air 70
Vitesse de transfert 59
Vitrage antiémissif 40
Vitrages (orientation) 35
Vitrages panoramiques 112
Vitrages verticaux 35, 36, 40
VMC 80
Voiture (climatisation) 111 et suiv.
Volets 37, 41
Volets battants 41
Volets roulants 41

Z

Zones d'ensoleillement 48

Sources scientifiques

[1] Site internet HVAC, tome 1, Salvatore Morreale, www.cfc.be.tf.

[2] *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*, Baruch Givoni, Ed. John Wiley, 1994.

[3] valeurs mentionnées dans l'ouvrage *Pareti Verdi* par Antonella Bellomo.

[4] *Architecture d'été*, Jean-Louis Izard, Édisud, 1993.

[5] Études réalisées par les auteurs avec le logiciel PLEIADES + COMFIE v 3.13 développé par IZUBA énergies (www.izuba.fr).

[6] L'inertie thermique dans la construction, colloque du Pôle Construction Languedoc-Roussillon, 2003.

[7] *Passive Cooling of Buildings*, James & James, 1996.

[8] Fichier météorologique de Carpentras.

[9] Cité par A. Argiriou dans Passive Cooling of Buildings, James and James, 1996

[10] Alain Trombe, INSA de Toulouse, mesures effectuées sur juillet 1991.

[11] Source : GIEC-IPCC, Report Climate Change, 2001.

[12] Selon le règlement européen CE n° 2037/2000 du 29 juin 2000.

[13] Selon la directive européenne 2002/31/EC, les performances en froid sont données pour une température intérieure de 27°C, une température extérieure de 35°C et une longueur de canalisation de 7,5 m sans dénivellation.

[14] Décret n°95-408 du 18 avril 1995.

[15] Arrêté du 30 juin 1999, paru au J.O. du 17 juillet 1999.

[16] Directive 98/69, cycle urbain ECE, cycle extra-urbain EUDC, et cycle mixte NMVEG.

[17] *La climatisation automobile, impact énergétique et environnemental*, Stéphane BARBUSSE et Laurent GAGNEPAIN, Ademe, mai 2003.

[18] Étude ADEME, voir note [17].

[19] Source DGEMP, Chiffres-clefs de l'énergie, 2002. Prix du carburant : 1,10 euros par litres en Super98 (valeur 1er trimestre 2004).

[20] *Chiffres clés de la climatisation*, Dominique Marchio, École des mines de Paris. Source : MAD - L'Outil froid, n° 10, avril 1999.

[21] Chiffres UNICLIMA, cités dans Énergie Plus, n°320 du 15 février 2004, dans un article titré "La canicule peut aussi avoir des effets positifs".

[22] Crédit d'impôt plafonné à 4 000 € pour une personne seule et à 8 000 € pour un couple marié. Disposition valable début 2004. L'installation doit concerner une habitation principale située en France, être intégrée à un logement neuf ou, s'il s'agit d'un logement ancien, être fournie et installée par une entreprise. Source : www.finances.gouv.fr.

[23] Peuvent en bénéficier les équipements qui proposent chauffage et climatisation par pompe à chaleur (sur au moins 50 % de la surface du logement) : plancher chauffant avec ou sans fonction rafraîchissement, système centralisé à air, ventilo-convecteurs, split et multisplit. Par ailleurs, le Crédit foncier de France ne demande aucune garantie, aucun frais de dossier, et aucune indemnité de remboursement par anticipation au titre du prêt Vivrélec habitat neuf.

[24] Loi sur l'énergie L 2 30 du 14 avril 1988, art. 22B, http://www.geneve.ch/chancellerie/conseil/2001-2005/informations/diae020718.html.

[25] Selon " le scénario Négawatt " de l'association Négawatt, la consommation des véhicules particuliers est de 25 Mtep en 2000, avec une prévision de 28,8 Mtep en 2015. La part de la climatisation peut donc être évaluée à 5 % x 80 % de cette valeur, soit 1,15 Mtep.

[26] Selon une étude ADEME, région PACA et EDF, instrumentation cabinet Enertech : précisément de 61 Wh/m2.jour à 175 Wh/m2.jour pour les systèmes individuels et de 30 Wh/m2.jour à 548 Wh/m2.jour pour les systèmes centralisés.

[27] Communication ADEME PACA, colloque ATEE Sophia-Antipolis, novembre 2002.

[28] Cette analyse s'inspire notamment d'un article de Christian Couturier : " Canicule et énergie : analyse à froid ", Solagro, août 2003.

[29] Note ADEME, Patrick Coroler, 24 juin 2003.

Imprimé par Dumas-Titoulet Imprimeurs
N° imprimeur : 45918 C
Dépôt légal : septembre 2007

Imprimé sur papier 100 % recyclé

Fraîcheur sans clim'

Thierry Salomon et Claude Aubert

Rafraîchissons-nous sans réchauffer la planète !

Les climatologues nous promettent des canicules à répétition.
Alors, vive la clim', unique solution pour survivre ?
Mais la clim' est un mode de rafraîchissement polluant, gaspilleur d'énergie et peu accessible aux foyers modestes, qui sont aussi les plus exposés à la canicule. Productrice de gaz à effet de serre, elle contribue même au réchauffement du climat !
Rafraîchir sans clim', c'est possible, comme nous le prouvent des réalisations de plus en plus nombreuses, inspirées de techniques traditionnelles ou faisant appel aux technologies les plus modernes.
Depuis les trucs et astuces simples jusqu'à la conception du logement - pour ceux qui envisagent de construire - en passant par des équipements faciles à installer et à utiliser, ce livre fourmille d'informations pratiques.
Que nous soyons locataires ou propriétaires, citadins et ruraux, en appartement ou en maison individuelle, chacun de nous y trouvera matière à éviter la clim', ou au moins à en limiter l'usage.
Même les automobilistes y trouveront leur compte.

Un livre pratique pour mieux vivre sans polluer et sans se ruiner.

Thierry Salomon est un des meilleurs spécialistes des économies d'énergie et des solutions écologiques en matière de chauffage et de rafraîchissement. Il est aussi l'auteur de La maison des [néga]watts, *paru aux éditions terre vivante.*
Claude Aubert, ingénieur agronome de formation, s'est passionné pour l' habitat écologique et les techniques de rafraîchissement naturel.

Préface d'Yves Cochet
député de Paris,
ancien ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

ISBN 2-914717-09-1
9 782914 717090

Prix : **19,50 €**